

**Universidade Estadual de Campinas**

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**Dissertação de Mestrado**

**Balanço Hídrico na Refinaria de Paulínia e  
Alternativas para Reuso de Água: Construção de  
uma Ferramenta Auxiliar para o Gerenciamento  
dos Recursos Hídricos**

**Daniel Mendes Nogueira**

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Departamento de Saneamento e Ambiente

**Balanço Hídrico na Refinaria de Paulínia e  
Alternativas para Reuso de Água: Construção de  
uma Ferramenta Auxiliar para o Gerenciamento  
dos Recursos Hídricos**

Daniel Mendes Nogueira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes

**Dissertação de Mestrado apresentada  
à Comissão de Pós-Graduação da  
Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo da  
Universidade Estadual de Campinas,  
como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil, na área de  
concentração em Saneamento e  
Ambiente.**

**Campinas, SP  
01/2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -  
UNICAMP

N689b Nogueira, Daniel Mendes  
Balanço hídrico na refinaria de Paulínia e alternativas  
para reuso de água: construção de uma ferramenta  
auxiliar para o gerenciamento dos recursos hídricos /  
Daniel Mendes Nogueira.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Balanço hidrológico. 2. Recursos hídricos. 3.  
Petróleo - Refinarias. 4. Água - Reutilização. I.  
Mendes, Carlos Gomes da Nave. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Hydric balance in the Paulinia's refinery and alternatives  
for water reuse: establishment of an auxiliary tool for the hydric resources  
management

Palavras-chave em Inglês: Hydric balance, Refinery, Reuse, Water

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Luis Tadeu Furlan, José Roberto Guimarães

Data da defesa: 31/01/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

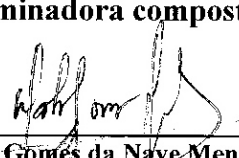
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

**Balanço Hídrico na Refinaria de Paulínia e  
Alternativas para Reuso de Água: Construção de  
uma Ferramenta Auxiliar para o Gerenciamento  
dos Recursos Hídricos**

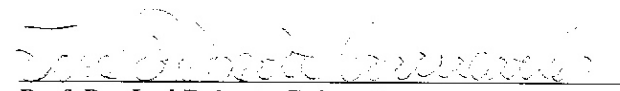
**AUTOR: Daniel Mendes Nogueira**

**ORIENTADOR: Carlos Gomes da Nave Mendes**

**A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, Presidente  
FEC/UNICAMP**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Luis Tadeu Furlan  
PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS.**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Roberto Guimarães  
FEC/UNICAMP**

**Campinas, 31 de janeiro de 2007.**

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Patrícia pelo amor e pela compreensão nos momentos de ausência busca de mais um objetivo.

A meus pais que me ensinaram valores importantes à vida e que sempre deram apoio a minha formação intelectual.

À minha irmã Gabriela pelos momentos que passamos juntos em toda nossa infância e mesmo agora apesar da distância.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha companheira de trabalho, Priscilla, pela grande amizade e pela contribuição e dedicação, imprescindíveis para a realização desse trabalho.

Ao professor Carlos pela amizade, orientação, incentivo, segurança e confiança depositada neste projeto.

Ao Luís Tadeu Furlan pela confiança na equipe e pela oportunidade de desenvolvermos o conhecimento no que almejávamos. Espero que este trabalho tenha um retorno no mínimo equivalente ao esperado.

Aos “chefes” Lauro, Márcia e César pela credibilidade e amizade.

Aos diversos profissionais da REPLAN que ajudaram no aprendizado e a concretizar este trabalho. Sem vocês isto não seria possível.

À PETROBRAS S.A. pelo apoio e infra-estrutura.

Aos docentes da Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Saneamento e Ambiente da UNICAMP, pela aprendizagem.

Aos meus amigos e familiares, por permitirem momentos de confraternização e alegria.

## RESUMO

A escassez de água tem sido nos últimos anos tema de discussões não só de trabalhos científicos como também de políticos, imprensa e sociedade civil, devido à conscientização desta problemática no mundo. No Brasil, a região metropolitana de Campinas está entre as que mais sofrem com esse tipo de problema ( $DEA = 278,9 \text{ m}^3/\text{ano.habitante}$ ), levando às suas indústrias terem que adotar medidas para redução de consumo de água, sob o risco de estagnação de sua produção. Entre essas indústrias encontra-se a Refinaria de Paulínia, que capta, junto ao Rio Jaguari, cerca de  $1653 \text{ m}^3/\text{h}$ , valor muito próximo à outorga concedida ( $1870 \text{ m}^3/\text{h}$ ), pondo em risco suas futuras ampliações já previstas.

O principal objetivo deste trabalho é proceder ao levantamento do Balanço Hídrico detalhado da Refinaria de Paulínia, enfocando todas suas unidades de processo, de forma que sirva como base de informações para gerenciamento dos recursos hídricos lá consumidos em suas diversas formas (água bruta, de processo, incêndio, potável, desmineralizada, vapor, etc.). Além disso, houve o intuito de levantar eventuais maus usos e desperdícios, o que permitirá implementar programas de redução do consumo de água, como por exemplo, reusos ainda não realizados.

Como resultado principal verificou-se que 61,5 % do total de água captada pela refinaria não chega à estação de tratamento, ou seja, ocorrem perdas nos processos, sendo a grande maioria referente à evaporação nas torres de resfriamento, fator intrínseco ao processo. Outra questão importante e identificada trata da relação entre a manutenção de alguns equipamentos e o conseqüente desperdício de água. Com a solução dos problemas identificados, estima-se que a captação poderia ser reduzida em 6,4 % e a geração de efluentes em 16,9 %.

Para finalizar, apesar da complexidade inerente a uma planta industrial de refino de petróleo, a metodologia adotada permitiu o levantamento de resultados consistentes para os Balanços Hídricos individuais das diversas unidades de processo e global da REPLAN, fato comprovado pela pequena diferença entre a somatória dos valores das perdas estimadas individuais (micro) e total (macro) de, aproximadamente, 1,9 %.

**Palavras chave: balanço hídrico, refinaria, reuso, água**

## ABSTRACT

In the last years the shortage of water has been theme of discussions not only in scientific works but also in politics, media and civil society areas, due to the consciousness-raising to this problem worldwide. In Brazil, the metropolitan area of Campinas is among the ones that experience more deeply this kind of problem (DEA = 278.9 m<sup>3</sup>/year.inhabitant), which stimulates the industries to adopt measures for reduction of water consumption, under the risk of stagnation of its production. Among those industries there is Paulínia's Refinery, which takes about 1653 m<sup>3</sup>/h from Jaguari River, a value very close to the one conceded (1870 m<sup>3</sup>/h), putting in risk future expansion already planned.

The main objective of this work is to proceed with the survey of the detailed Hydric Balance of Paulínia's Refinery, focusing all its process units, so that it can be used as a base of information for administration of the hydric resources wasted in its several ways (raw water, water for process, fire, drink water, demineralized water, steam, etc.). Besides, there was the intention of raising eventual misuse and wasting, which will allow the implementation of programs for reduction of water consumption, e.g. reuse not accomplished yet.

As main result, it was verified that 61.5% of total water captured for the refinery do not arrive at the treatment station, that is, occur losses in the processes, being the great referring majority to the evaporation in the cooling towers, intrinsic factor to the process. Another important identified point is the relationship between the maintenance of some equipment and the consequent waste of water. With the solution for the identified problems, it is considered that the water reception could be reduced in 6.4 % and the generation of wastes in 16.9 %.

To conclude, in spite of the inherent complexity of a petroleum refine industrial plant, the adopted methodology allowed the rising of solid results for both individual and global Hydric Balances of the several units of process at REPLAN. This fact was proved by the small difference between the sum of the individual (micro) and total (micro) values of losses, of approximately 1.9%.

**Key Words: hydric balance, refinery, reuse, water**



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Disponibilidade de água no planeta .....	02
<b>Figura 3.1</b> – Localização das 22 UGRHI .....	14
<b>Figura 3.2</b> – Projeção populacional nas bacias hidrográficas do PCJ .....	16
<b>Figura 3.3</b> - Princípios básicos relacionados à Prevenção da Poluição .....	19
<b>Figura 4.1</b> – Vista aérea da refinaria de Paulínia .....	41
<b>Figura 4.2</b> – Moderno esquema de refino similar à REPLAN .....	44
<b>Figura 4.3</b> – Diferentes formas de água encontradas na refinaria .....	53
<b>Figura 4.4</b> - Diagrama simplificado das etapas da ETDI .....	59
<b>Figura 4.5</b> – Diagrama simplificado das etapas da ETE .....	60
<b>Figura 4.6</b> – Fluxograma simplificado dos passos da construção do balanço hídrico .....	63
<b>Figura 5.1</b> – Fluxograma esquemático da captação de água bruta no Rio Jaguari, com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	67
<b>Figura 5.2</b> – Valores de vazão obtidos e corrigidos das bombas de captação de água bruta .....	70
<b>Figura 5.3</b> – Vazões estimadas de captação de água bruta da REPLAN utilizando-se os resultados levantados no presente estudo .....	70
<b>Figura 5.4</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da ETA, já inclusos os processos de Troca Iônica e Osmose Reversa, com valores médios do período histórico considerado .....	71
<b>Figura 5.5</b> – Fluxograma de processo da unidade de resfriamento I (U-612), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	79
<b>Figura 5.6</b> – Fluxograma de processo da unidade de resfriamento II (U-612A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	80
<b>Figura 5.7</b> – Fluxograma do processo interno da CAFOR, com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	85
<b>Figura 5.8</b> – Resumo das entradas e saídas nos desaeradores internos da CAFOR .....	92

<b>Figura 5.9</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de DESTILAÇÃO I (U-200), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	93
<b>Figura 5.10</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de DESTILAÇÃO II (U-200A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	94
<b>Figura 5.11</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de CRAQUEAMENTO CATALÍTICO I (U-220), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	96
<b>Figura 5.12</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de CRAQUEAMENTO CATALÍTICO II (U-220A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	98
<b>Figura 5.13</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria das unidades de HIDROTRATAMENTO I e GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO I (U-283/U241), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	100
<b>Figura 5.14</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria das unidades de HIDROTRATAMENTO II e GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO II(U-283A/U241A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	101
<b>Figura 5.15</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de COQUEAMENTO RETARDADO I (U-980), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	102
<b>Figura 5.16</b> – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de COQUEAMENTO RETARDADO II (U-980A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	103
<b>Figura 5.17</b> - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS I (U-683), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	105
<b>Figura 5.18</b> - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS II (U-683A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	106
<b>Figura 5.19</b> - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS III (U-683B), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	107
<b>Figura 5.20</b> - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de Tratamento de Efluentes Industriais -ETDI (U-740), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006 .....	109

<b>Figura 5.21</b> – Distribuição do consumo de água captada na REPLAN .....	111
<b>Figura 5.22</b> – Distribuição da geração de efluentes das unidades de processo da REPLAN .....	113
<b>Figura 5.23</b> – Vazões dos reusos atualmente realizados e potencial previsto após adaptações da U-690 e manutenção de equipamentos nos COQUES I e II e CRAQUEAMENTO II .....	115
<b>Figura 5.24</b> – Consumo total de água (“nova” + reusos), por unidade na REPLAN .....	116
<b>Figura 5.25</b> – Balanço total da REPLAN considerando somente entradas e saídas globais da refinaria .....	118
<b>Figura 5.26</b> – Exemplo de uma planilha em Excel contendo o histórico de um ponto de amostragem da vazão .....	124

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Consumo anual <i>per capita</i> de água, segundo a renda .....	03
<b>Tabela 3.1</b> – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água .....	10
<b>Tabela 3.2</b> – Disponibilidade hídrica no Brasil .....	12
<b>Tabela 3.3</b> – Valores do coeficiente de enquadramento dos corpos hídricos das bacia do PCJ - $K_{cap}$ classe .....	29
<b>Tabela 3.4</b> – Valores integrais cobrados na bacia do PCJ para cada tipo de uso .....	31
<b>Tabela 3.5</b> – Médias esperadas para as águas Title 22 e Title 22 tratada .....	33
<b>Tabela 3.6</b> – Programa de Tratamento Químico .....	35
<b>Tabela 3.7</b> - Concentração indicada e analisada para os contaminantes restritivos .....	39
<b>Tabela 4.1</b> – Carga processada por unidade de refino da PETROBRAS .....	43
<b>Tabela 5.1</b> – Valores obtidos em testes volumétricos para calibração das bombas de captação de água bruta .....	69
<b>Tabela 5.2</b> – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração das resinas catiônicas cadeias A/B/C .....	73
<b>Tabela 5.3</b> – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina catiônica cadeia D .....	73
<b>Tabela 5.4</b> – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração das resinas aniônicas cadeias A/B/C .....	73
<b>Tabela 5.5</b> – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina aniônica cadeia D .....	74
<b>Tabela 5.6</b> – Estimativa do volume água utilizada na regeneração resinas de leito misto cadeias A/B/C .....	74
<b>Tabela 5.7</b> – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina de leito misto cadeia D .....	74

<b>Tabela 5.8</b> – Estimativa do volume de água utilizada na lavagem dos vasos descloradores cadeias A/B/C/D/E .....	75
<b>Tabela 5.9</b> – Estimativa do volume total gasto na regeneração das resinas em Julho/2005 .....	75
<b>Tabela 5.10</b> – Estimativa do volume das soluções regenerantes enviado por unidade .....	75
<b>Tabela 5.11</b> - Estimativa do volume de água utilizada nas lavagens dos módulos da UF, em Julho/05 .....	77
<b>Tabela 5.12</b> - Estimativa do volume da água de lavagem da UF enviado por unidade .....	77
<b>Tabela 5.13</b> – Contribuições da ETA para a geração de efluentes .....	78
<b>Tabela 5.14</b> – Dados operacionais dos dois sistemas de resfriamento e estimativa das perdas .....	81
<b>Tabela 5.15</b> – Contribuições das unidades de resfriamento para a geração de efluentes ...	82
<b>Tabela 5.16</b> – Dados coletados nos testes efetuados no V-22534 .....	83
<b>Tabela 5.17</b> – Produtores de vapor de alta pressão e estimativas da vazão .....	87
<b>Tabela 5.18</b> – Consumidores de vapor de alta pressão e estimativas de vazão .....	87
<b>Tabela 5.19</b> – Produtores de vapor de média pressão e estimativas da vazão .....	88
<b>Tabela 5.20</b> – Consumidores de vapor de média pressão e estimativas da vazão .....	89
<b>Tabela 5.21</b> – Produtores de vapor de baixa pressão e estimativas da vazão .....	90
<b>Tabela 5.22</b> – Consumidores de vapor de baixa pressão e estimativas da vazão .....	90
<b>Tabela 5.23</b> – Balanço interno da CAFOR .....	91
<b>Tabela 5.24</b> – Contribuições das unidades de destilação para a geração de efluentes .....	95
<b>Tabela 5.25</b> – Contribuições das unidades de craqueamento para a geração de efluentes.	99
<b>Tabela 5.26</b> – Contribuições das unidades de coqueamento para a geração de efluentes .	104
<b>Tabela 5.27</b> – Vazão total obtida através das unidades e contribuições das vias de acesso à ETDI .....	110

<b>Tabela 5.28</b> – Vazões dos reusos atualmente realizados e potencial previsto após adaptações da U-690 e manutenção de equipamentos nos COQUES I e II e CRAQUEAMENTO II .....	114
<b>Tabela 5.29</b> – Consumos, saídas e diferenças das unidades de processo .....	117
<b>Tabela 5.30</b> – Análises qualitativas do tanque de pulmão das lavagens da troca iônica e ultrafiltração .....	119
<b>Tabela 5.31</b> – Análises qualitativas da água utilizada para dessalgação na Destilação I ..	119
<b>Tabela 5.32</b> – Análises qualitativas da água utilizada para dessalgação na Destilação II .	120
<b>Tabela 5.33</b> – Análises qualitativas do condensado contaminado no Craqueamento II ....	120
<b>Tabela 5.34</b> – Análises qualitativas do condensado contaminado no Coque I .....	121
<b>Tabela 5.35</b> – Análises qualitativas do condensado contaminado no Coque II .....	121
<b>Tabela 5.36</b> – Análises qualitativas da salmoura após dessalgação .....	122

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ANA – Agência Nacional de Águas  
ANP – Agência Nacional de Petróleo  
CAC – Canal de Água Contaminada  
CAFOR – Casa de Força  
CBW – Chemical Back Wash  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo  
CIP – Clean In Place  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DEA – Demanda Específica de Água  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
ETDI – Estação de Tratamento de Despejos Industriais  
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo  
GASBOL – Gasoduto Brasil-Bolívia  
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo  
HDT – Hidrotratamento de Correntes Instáveis  
HPA - Hidrocarboneto Policíclicos Aromáticos  
ICA – Indicador do Consumo de Água  
LB – Limite de Bateria  
PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí  
PDT – Pressure Decay Test  
PUB – Preço Unitário Básico  
PV – Redutora de Pressão  
REPLAN – Refinaria de Paulínia  
SAC – Sistema de Águas Contaminadas  
SAO – Sistema de Água Oleosa  
THM – Trialometano  
U-200/A – Unidades de Destilação I e II

U-220/A – Unidades de Craqueamento Catalítico I e II  
U-241/A – Unidades de Geração de Hidrogênio I e II  
U-283/A – Unidades de Hidrotratamento I e II  
U-610 – Captação de Água Bruta  
U-612/A – Unidades de Resfriamento de Água I e II  
U-620 – Estação de Tratamento de Água  
U-631 – Casa de Força  
U-683/A/B – Unidades de Retificação de Água Ácida I, II e III  
U-690 – Unidade de Tratamento de Água Ácida Retificada  
U-740 – Unidade de Tratamento de Despejos Industriais  
U-980/A – Unidades de Coqueamento Retardado I e II  
U-1151 – Estação de Tratamento de Efluentes  
UC – Unidade de Cor  
UDL – Unidade de Desidratação de Lodo  
UF – Ultrafiltração  
UGH – Unidade de Geração de Hidrogênio  
UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
URE – Unidade de Recuperação de Enxofre  
UT – Unidade de Turbidez  
V3 – Vapor com 3,0 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão  
V13 – Vapor com 13,0 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão  
V91 – Vapor com 91,0 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>07</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>09</b>
3.1 Escassez e Conflitos pelo Uso da Água.....	09
3.2 Situação Brasileira .....	11
3.3 Situação dos Recursos Hídricos na Região da REPLAN .....	13
3.3.1 Qualidade das Águas da Bacia do PCJ .....	15
3.3.2 Crescimento Populacional .....	15
3.4 Gerenciamento de Água na Indústria .....	17
3.4.1 Prevenção à Poluição .....	18
3.4.2 Importância da Consolidação de um Balanço Hídrico .....	20
3.4.3 Reuso de Água .....	21
3.4.4 Legislação no Brasil .....	23
3.5 Reusos de Água em Refinarias de Petróleo .....	31
3.5.1 Reciclagem de Esgoto Doméstico para o Sistema de Resfriamento.....	31
3.5.2 Reuso de Água Ácida Retificada nas Piscinas do Coque .....	38
<b>4. BALANÇO HÍDRICO DA REFINARIA DE PAULÍNIA (REPLAN) .....</b>	<b>41</b>
4.1 Apresentação da Empresa .....	41
4.2 Esquema de Refino .....	43
4.3 Descrição das Unidades de Refino e Seus Usos de Água .....	45
4.3.1 U-200/A – Destilação Atmosférica e a Vácuo .....	45
4.3.2 U-220/A – Craqueamento Catalítico .....	47
4.3.3 U-283/A e U-241/A – Hidrotratamento de Correntes Instáveis (HDT) e Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH) .....	48
4.3.4 U-980/A – Coqueamento Retardado .....	49
4.4 Unidades de Processamento de Água da REPLAN .....	50
4.4.1 U610/U620 – Captação e Estação de Tratamento de Água (ETA).....	51

4.4.2 U-612/A – Torres de Resfriamento .....	54
4.4.3 U-631 – Casa de Força (CAFOR) .....	55
4.4.4 U-683/A/B – Unidade Retificadora de Águas Ácidas .....	56
4.4.5 U-740 – Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) .....	57
4.4.6 U-1151 – Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) .....	60
4.5 Metodologia Adotada para o Levantamento de Dados e Construção dos Balanços Hídricos Individuais e Global da Refinaria .....	60
4.6 Medição de Vazão .....	64
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
5.1 Balanço Hídrico da Refinaria de Paulínia .....	67
5.1.1 U-610: Captação de Água Bruta .....	67
5.1.2 U-620: Estação de Tratamento de Água .....	71
5.1.3 U-612/A: Unidades de Resfriamento de Água .....	78
5.1.4 U-631: CASA DE FORÇA (CAFOR) .....	83
5.1.5 U-200/A: Destilação Atmosférica e a Vácuo .....	92
5.1.6 U-220/A: Craqueamento Catalítico .....	95
5.1.7 U-283/A e U-241/A: Hidrotratamento e Geração de Hidrogênio .....	100
5.1.8 U-980/A: Coqueamento Retardado .....	101
5.1.9 U-631/A/B: Unidades de Retificação de Águas Ácidas .....	105
5.1.10 U-740: Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) .....	108
5.1.11 U-1121: Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) .....	110
5.2 Caracterização da REPLAN quanto aos Usos de Água .....	111
5.3 Análises Qualitativas dos Fluxos com Destino à ETDI .....	118
5.4 Ferramenta Auxiliar ao Gerenciamento do Uso da Água na REPLAN .....	123
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>127</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>129</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>131</b>

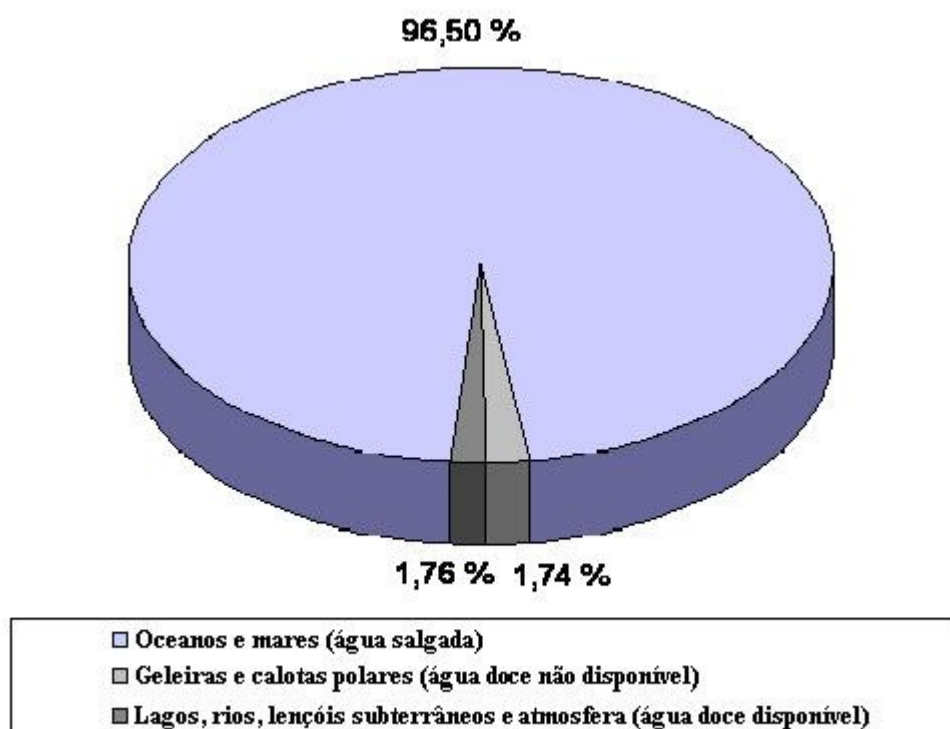
# 1. INTRODUÇÃO

A ciência tem demonstrado que a vida se originou na água e que ela constitui a matéria predominante nos organismos vivos. É impossível imaginar um tipo de vida em sociedade que dispense o uso da água: para beber e cozinhar; para a higiene pessoal e do lugar onde vivemos; para lazer; para uso industrial; para irrigação das plantações; para geração de energia; e para navegação. Recentemente, esta fonte de vida vem se tornando cada vez mais degradada no planeta.

A Terra tem 70 % de sua superfície recoberta por água e apenas 30 % de área continental; por esse motivo, é também chamada de Planeta Água. Por mais paradoxal que seja, em meio a tanta abundância, as previsões apontam para a escassez deste recurso, cujas reservas serão insuficientes para atender às crescentes demandas da população (Pimentel, 1999). Tal fato decorre mais da distribuição irregular da água no planeta – áreas com maior concentração – do que propriamente pela carência. Não se trata de mais uma antevisão futurista catastrófica para a Humanidade, mas uma realidade concreta e preocupante, já vivenciada em algumas partes do mundo. Cientistas e organizações internacionais, a exemplo da Organização das Nações Unidas (ONU), do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), vêm há algumas décadas alertando os governantes de todo o mundo sobre o que consideram o problema do milênio – a reserva de água. Para confirmar esta apreensão, pode-se citar uma série de reuniões voltadas para o mesmo fim: Conferência de Mar del Plata, 1977; Conferência Mundial de Água Potável e Abastecimento de Nova Déli, 1990; Simpósio Internacional Sobre Água e Meio Ambiente de Dublin, 1992; Conferência de Noordwijk, 1994; Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio de Janeiro, 1992; Conferência das Nações Unidas Sobre Habitat de Istambul, 1996; Conferência Internacional Sobre Água e Desenvolvimento Sustentável – Paris, 1998, entre outras de importância similar.

Para entender o porquê de tantas preocupações é importante registrar a disponibilidade de água na superfície terrestre que está exposto na Figura 1.1. Observa-se que a quase totalidade (96,5 %) deste recurso não se encontra em disponibilidade para uso, por se tratar de água salgada. 3,5 % correspondem a “água doce”, dos quais 1,74 % se

encontram nas calotas polares, portanto, indisponível para uso; enquanto os 1,76 % restantes correspondem à parcela disponível para consumo humano - a disponibilidade aqui se refere ao uso de água pela maior parte das atividades humanas sem que sejam necessários grandes investimentos para se adequar suas características físicas, químicas e/ou biológicas.



**Figura 1.1** – Disponibilidade de água no planeta  
Fonte: Unesco & WWAP, Water for people, water for life, 2003, p. 681.

A disponibilidade de água para consumo é variável no tempo e no espaço, em razão das condições climáticas da região considerada e período do ano, e pode ser afetada pelas atividades humanas – seja pela demanda excessiva ou por problemas de poluição resultantes do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais. Por isso, a quantidade de água disponível por habitante vem caindo desde 1970. “As reservas de água estão diminuindo, enquanto a demanda cresce de forma dramática, em um ritmo insustentável”. Para o ano de 2050, estima-se que a população mundial seja de 9,3 bilhões

de pessoas, e que entre 2 a 7 bilhões de pessoas não terão acesso à água potável, em nível doméstico e urbano (ZAN, 2006).

O consumo de água também pode ser considerado como um indicador de desenvolvimento humano. Uma premissa aceita por todos os pesquisadores é que este aumenta de acordo com a renda. Quanto mais recursos financeiros disponíveis, maior o consumo de água *in natura* ou utilizada no processamento de mercadorias agrícolas ou industrializadas. O consumo desigual da água pode ser exemplificado pelos dados apresentados na Tabela 1.1. Os Estados Unidos é o país que mais consome, chegando a superar a soma dos consumos de países como França e Japão. Outro país que utiliza muita água é o Emirados Árabes: quase o quádruplo do Brasil, e com um fato curioso, consome cerca de três vezes mais do que dispõe em seu território.

**Tabela 1.1** – Consumo anual *per capita* de água, segundo a renda

País	Uso domiciliar (m <sup>3</sup> )	Uso industrial e agrícola (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )	% usada sobre o total dos recursos hídricos	Classificação segundo a renda
Estados Unidos	244	1.624	1.868	18,8	Elevada
Austrália	849 <sup>2</sup>	457	1.306	5,2	Elevada
Israel	66	344	410	86,0	Elevada
Japão	125	607	732	16,3	Elevada
França	125	654	778	23,6	Elevada
Emirados Árabes	97	787	884	299	Elevada
Brasil	54	191	245	0,5	Média alta
Argentina	94	948	1.042	2,8	Média alta
África do Sul	46	340	386	29,3	Média alta
Guiné-Bissau	3	8	11	1	Baixa
Moçambique	13	42	55	1,3	Baixa

Fonte: Banco Mundial, Relatório sobre o desenvolvimento humano, 1995, pp. 244-245.

Os países de baixa renda, e de baixos índices de urbanização, como Guiné-Bissau e Moçambique, chegam a um consumo muito menor que os demais selecionados na tabela. Além disso, utilizam cerca de 1 % de suas reservas, no que são superados apenas pelo Brasil, com cerca de 0,5 %. Entre os trinta primeiros países em disponibilidade hídrica de um total de 182 analisados no documento *Water for people, water for life* (Unesco e

WWAP, 2003, pp. 70-74), apenas Canadá, Noruega e Nova Zelândia são considerados de renda elevada.

Apesar da Tabela 1.1 colocar o Brasil em uma situação muito confortável, deve-se lembrar que a maior parte do potencial hídrico superficial, cerca de 89 %, está concentrada nas regiões Norte e Centro-Oeste onde vivem 14,5 % da população. Os outros 11 % do potencial hídrico superficial são distribuídos pelas demais regiões onde habitam 85,5 % da população e representam 90,8 % da demanda de água do Brasil (GEO BRASIL, 2002, p.79).

Na região da Refinaria de Paulínia, segundo a GEO BRASIL (2002), “No Sudeste, evidenciam-se os conflitos em torno da utilização da água dos rios Paraíba do Sul, Piracicaba e Capivari, entre outros”. As necessidades futuras de água para atendimento ao crescimento da população e das atividades econômicas de forma ambientalmente sustentável, dentro das bases atuais, já estão comprometidas. Assim, como a indústria de refino de petróleo é demandadora intensiva do insumo água no seu processo produtivo e em decorrência da crise de água na região onde a REPLAN está instalada, a obtenção de água passa a ser fundamental para o seu desenvolvimento.

É neste desafio que muitas indústrias da região Sudeste se encontram nos dias atuais: usar a escassa água em seus processos produtivos, levando em consideração a crescente demanda e a contaminação dos mananciais urbanos, sem esquecer que, pela legislação ambiental, em momentos de escassez o uso prioritário é para o abastecimento público e dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Estes problemas têm feito do uso racional dos recursos hídricos, um tema atual e de grande importância, configurando-se em uma alternativa promissora para minimizar a demanda dos recursos hídricos.

Desta forma, para projetos de otimização dos recursos hídricos em uma indústria, um estudo baseado na quantificação e qualificação das correntes hídricas torna-se de grande relevância para definir prioridades na destinação dos recursos e para gerenciar o uso da água da melhor forma possível. Devido ao alto grau de importância relativo à quantificação das correntes hídricas dos processos, visando futuras alternativas e ações para o reuso da água e a eliminação de maus usos, foi firmado um convênio entre a Refinaria de Paulínia – REPLAN e a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Departamento de

Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC, através da Fundação para o Desenvolvimento da UNICAMP - FUNCAMP, com o objetivo de levantar dados para quantificar o balanço hídrico detalhado de cada unidade de processo da REPLAN. Tais informações, além de algumas características qualitativas de efluentes gerados nesses processos, permitirão consolidar alternativas e ações que venham a racionalizar em maior grau o uso da água nessa refinaria, minimizar desperdícios e programar reusos ainda não calculados, objetivos do presente trabalho.





## **2 OBJETIVOS**

O objetivo principal do presente trabalho consiste no levantamento de dados das unidades de processo da REPLAN no que se refere ao consumo de água, sob diversas formas, tendo em vista o balanço de massa hídrico individual dessas unidades e global da refinaria. De posse dos resultados, ressaltar e avaliar os dados considerados de maior importância para a caracterização do uso da água nos processos industriais.

Realizar o levantamento de parâmetros qualitativos dos diversos pontos de emissão de efluentes para a estação de tratamento.

Dentre os objetivos específicos, podem ser destacados:

1. Obter a relação dos produtores e consumidores dos diversos tipos de água na refinaria
2. Caracterizar quantitativamente e qualitativamente os efluentes gerados
3. Discutir o que a REPLAN tem feito para minimizar o consumo de água bem como alternativas para novas possibilidades de reuso
4. Caracterizar os fluxos quanto à possibilidade de minimização de perdas, desperdícios e mau uso da água



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Escassez e Conflitos pelo Uso da Água

O descontrolado aproveitamento das águas, paralelamente à industrialização, urbanização e agricultura intensivas, em regiões outrora ricas em recursos naturais, estão desencadeando crescentes conflitos pelo uso da água. À medida que a relação entre disponibilidade hídrica e demanda vai diminuindo, a probabilidade do surgimento desses conflitos entre os diversos usuários dos recursos hídricos vai se tornando mais acentuada.

De uma maneira geral, existem duas razões pela qual a alteração da relação entre disponibilidade hídrica e demanda de água pode ocorrer. A primeira delas se deve aos fenômenos naturais, associados às condições climáticas do local, o que pode ser um fator predominante em determinadas regiões do globo. A segunda razão está diretamente associada ao crescimento populacional, que acaba exercendo uma pressão cada vez mais intensa sobre os recursos hídricos, seja pelo aumento da demanda, ou então, pelos problemas relacionados à poluição destes recursos, devido ao desenvolvimento de suas atividades. É importante salientar então, que a disponibilidade dos recursos hídricos pode variar sazonalmente, em função das condições climáticas, ou então esta disponibilidade pode ser reduzida devido aos processos de degradação da qualidade dos recursos hídricos, causados principalmente pelos processos de poluição.

Considerando a disponibilidade hídrica e a demanda de água gerada pelas diversas atividades humanas, MIERZWA (2002) estabeleceu uma classificação dos problemas relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos associados à competição pelo uso da água. Para isso, foi definida a seguinte grandeza:

*Demanda específica de água (DEA)* – Relaciona a disponibilidade anual de água por habitante, expressa em metros cúbicos por ano, por habitante ( $m^3/\text{ano.habitante}$ ).

Após, foi estabelecida uma correlação entre o DEA com os problemas potenciais associados à disputa pela água. Na Tabela 3.1 é apresentada esta relação.

**Tabela 3.1** – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água

<b>Demanda Específica de Água (DEA) m<sup>3</sup>/hab.ano</b>	<b>Tendência para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos</b>	<b>Problemas associados ao gerenciamento hídrico</b>
DEA $\geq$ 10.000	Sem tendências para o surgimento de estresse ambiental ou conflitos. Quantidade da água suficiente para o atendimento das necessidades humanas e do meio ambiente.	Sem problemas ou problemas limitados.
10.000 > DEA $\geq$ 2.000	Tendência ao surgimento de pequenas disputas com relação ao uso da água devido, principalmente, a processos isolados de poluição, que podem causar efeitos adversos ao meio ambiente.	Problemas gerais de gerenciamento.
2.000 > DEA $\geq$ 1.000	Tendência ao surgimento de estresse ambiental devido ao comprometimento da capacidade natural de autodepuração e contaminação do ambiente aquático e surgimento de conflitos relacionados ao uso da água, causados por problemas generalizados de poluição, podendo contribuir para a redução da disponibilidade dos recursos hídricos e necessidade de redução na intensidade, ou interrupção de algumas atividades humanas.	Grande pressão sobre os recursos hídricos.
1.000 > DEA $\geq$ 500	Possibilidade de ocorrência de vários problemas ambientais, podendo comprometer a qualidade de vida da população em geral, intensificando-se ainda mais os conflitos relacionados ao uso da água.	Escassez crônica de água
DEA < 500	Condição crítica em relação ao estresse ambiental e a geração de conflitos com relação ao uso da água, devendo-se priorizar o abastecimento doméstico, a produção de alimentos básicos e a proteção do meio ambiente, restringindo-se as atividades industriais àquelas extremamente necessárias.	Além do limite de disponibilidade de água

Fonte: MIERZWA (2002)

Desta forma, para que uma determinada região do planeta possa ser caracterizada em relação à tendência para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos, é necessário que se tenha os dados referentes à disponibilidade hídrica desta região, além da projeção do crescimento populacional para a mesma, e por meio de um cálculo simples, resultarão no valor referente à Demanda Específica de Água e, conseqüentemente na classificação desta região em uma das categorias apresentadas na Tabela 3.1. Com isto, pode-se identificar, em tempo hábil, as possíveis áreas sujeitas ao surgimento de conflitos associados ao uso da água e desenvolver programas que visem minimizar os possíveis efeitos adversos aos seres humanos e ao meio ambiente.

### **3.2 Situação Brasileira**

O Brasil é um país considerado privilegiado em termos de recursos hídricos. No entanto, deve-se verificar na Tabela 3.2 que a distribuição dessa água não é uniforme, resultando em abundância de água em algumas regiões em relação à outras.

Os valores da DEA nas várias regiões do Brasil, induzem ao conceito de abundância de água, no entanto, pode-se constatar a grande variação na disponibilidade hídrica das regiões brasileiras. Observa-se uma grande diversidade de situações, com abundância de água nas regiões Norte e Centro-Oeste, e relativa escassez na região Nordeste e em alguns estados desenvolvidos como Rio de Janeiro e São Paulo, consolidando a influência das condições climáticas e da intensidade de ocupação do solo.

Outro aspecto relevante é que 81,2 % da população do Brasil vive em áreas urbanas, sendo que aproximadamente 40 % desta população está concentrada em 22 regiões metropolitanas (IBGE, 2000). Quando se analisa este panorama, não é difícil identificar áreas com problemas relacionados à escassez de água, como as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Campinas, por exemplo.

**Tabela 3.2** – Disponibilidade hídrica no Brasil

<b>ESTADO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>DEA (m<sup>3</sup>/ hab.ano)</b>
Acre	483.374	351.977
Amapá	361.831	318.994
Amazonas	2.506.044	1.673.669
Pará	6.264.869	159.465
Rondônia	1.649.353	427.108
Roraima	340.734	500.989
Tocantins	1.016.879	120.887
<b>Região Norte</b>	<b>12.623.084</b>	<b>513.102</b>
Alagoas	2.796.375	1.579
Bahia	13.144.736	2.748
Ceará	6.915.342	2.239
Maranhão	5.418.080	15.622
Paraíba	3.415.886	1.348
Pernambuco	7.616.477	1.234
Piauí	2.810.968	8.818
Rio Grande do Norte	2.691.619	1.593
Sergipe	1.684.620	1.535
<b>Região Nordeste</b>	<b>46.464.103</b>	<b>4.009</b>
Espírito Santo	2.911.399	5.979
Minas Gerais	16.931.099	11.483
Rio de Janeiro	13.522.553	2.169
São Paulo	35.035.219	2.621
<b>Região Sudeste</b>	<b>68.400.270</b>	<b>4.868</b>
Paraná	8.838.903	13.247
Santa Catarina	5.022.885	12.720
Rio Grande do Sul	9.826.970	19.929
<b>Região Sul</b>	<b>23.668.758</b>	<b>15.907</b>
Distrito Federal	1.836.866	1.528
Goiás	4.428.021	36.308

**Tabela 3.2** – Disponibilidade hídrica no Brasil (continuação)

Mato Grosso	2.623.374	198.938
Mato Grosso do Sul	2.002.684	34.769
<b>Região Centro-Oeste</b>	<b>10.890.945</b>	<b>69.477</b>
<b>Brasil</b>	<b>162.067.160</b>	<b>50.162</b>

Fonte: ANA (2002)

### 3.3 Situação dos Recursos Hídricos na Região da REPLAN

A Lei Estadual nº 7.663, de dezembro de 1991, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dividiu o Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) que abrange todo o estado, sendo mostrado na Figura 3.1. Cada UGRHI possui um Comitê de Bacia que tem como principal objetivo gerenciar suas respectivas unidades visando assegurar que a água seja controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo o território do Estado.

A REPLAN está inserida na UGRHI da bacia do rio Piracicaba, Capivari e Jundiá – PCJ, destacada na Figura 3.1. Esta UGRHI engloba a região metropolitana de Campinas e é caracterizada pelo acentuado desenvolvimento industrial e alta densidade populacional. Hoje, 59 municípios contam com o abastecimento de água realizada por esta bacia, porém, essas águas não estão em sua totalidade à disposição para uso na própria região, pois aproximadamente 31 m<sup>3</sup>/s é transferido, através do sistema Cantareira, para a bacia do Alto Tietê. Esse sistema é um dos principais fornecedores de água à região metropolitana de São Paulo, sendo responsável por aproximadamente 60 % do abastecimento de sua população (PETRÓLEO BRASILEIRO, 2002).

Esse fato contribui para uma diminuição considerável da disponibilidade hídrica da bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (DEA = 278,9 m<sup>3</sup>/ano.habitante), sem esquecer que em épocas de estiagem a disponibilidade torna-se ainda menor. De acordo com a Tabela 3.1, regiões com valores DEA nesses patamares apresentam uma condição crítica em relação ao estresse ambiental e a geração de conflitos com o uso da água.



**Figura 3.1 – Localização das 22 UGRHI**

Fonte: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2004, p. 2



### **3.3.1 Qualidade das Águas da Bacia do PCJ**

Anualmente a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo por meio da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB realiza um diagnóstico de qualidade da água em todas as 22 UGRHI do estado. O Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2005) mostra que as águas dos rios que compõem as bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá apresentaram qualidade ruim e muito próxima de comprometer o abastecimento público e a vida aquática. Os rios têm presença importante de metais pesados, baixos teores de oxigênio e avançada eutrofização, especialmente por causa de elevadas cargas de fósforo nos cursos de água.

Embora esteja havendo esforço das cidades para tratar o esgoto doméstico, o relatório mostra que os impactos dessa ação ainda são muito pequenos e que será preciso investir muito mais no tratamento para atenuar o quadro de deterioração.

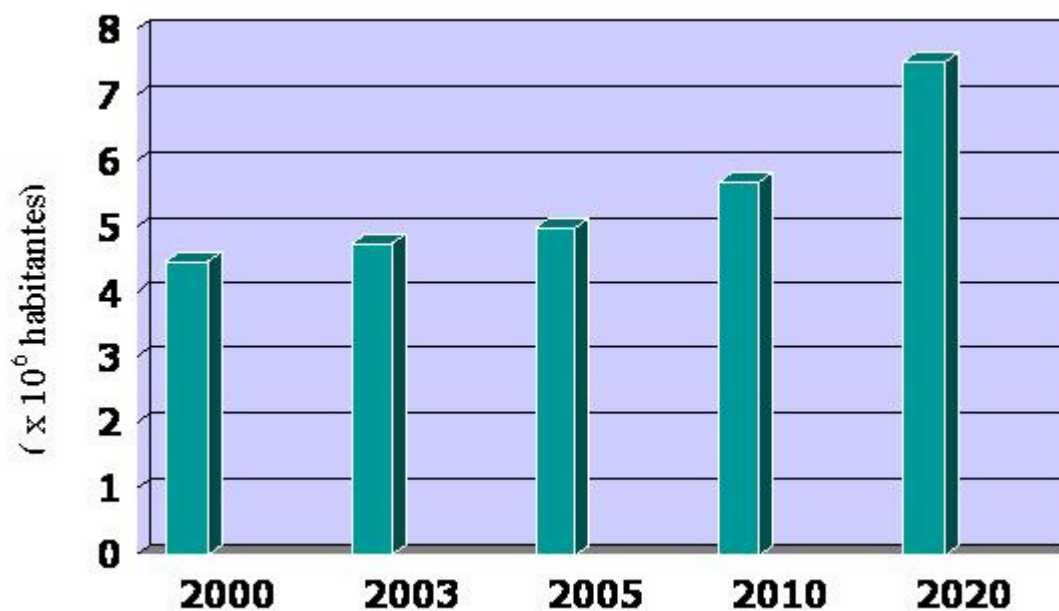
Em 2005, segundo o documento, as águas do Rio Atibaia continham alumínio, cádmio e ferro. Na captação de Campinas, havia concentrações elevadas do coliforme termotolerante (fecal). Os resultados da pesquisa aponta para a possibilidade de existência de fontes de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), potencialmente cancerígenos, na sub-bacia do Rio Atibaia.

O trecho inicial do Rio Jaguari, onde a disponibilidade hídrica é reduzida e há o lançamento dos esgotos domésticos de Bragança Paulista, a qualidade também foi enquadrada como ruim. Os pontos de monitoramento situados na captação de Paulínia e Hortolândia foram classificados como péssimo, influenciados pelo potencial de formação de trihalometanos (THM).

### **3.3.2 Crescimento Populacional**

A Taxa Geométrica de Crescimento Populacional dos municípios da bacia do PCJ passou de 3,11 % no período de 1980/1991 para 2,53 % no período 1991/2000. A população dos municípios da bacia, que em 2003 atingiu 4.751.249, era, em 2000, de 4.467.633 habitantes (AMORIM, 2005) e, segundo projeções, terá um aumento expresso na

Figura 3.2. Estes dados levam a crer que a problemática do uso da água na bacia PCJ se tornará ainda mais preocupante no futuro.



**Figura 3.2** – Projeção populacional nas bacias hidrográficas do PCJ

Fonte: Amorim (2005)

### 3.4 Gerenciamento de Água na Indústria

As discussões anteriores sobre a situação dos recursos hídricos na região da REPLAN mostraram a necessidade de medidas urgentes que devem ser tomadas para garantir o atendimento das necessidades atuais, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, ou seja, consolidar um modelo de desenvolvimento sustentável para a região.

A atual filosofia utilizada nas indústrias considera sistemas independentes para o gerenciamento de água para consumo industrial e para o gerenciamento dos efluentes a serem tratados e lançados para o meio ambiente.

No que se refere ao tratamento de água, para consumo industrial, a estratégia adotada consiste na utilização de sistemas de tratamento compostos por unidades nas quais são desenvolvidos processos físicos e químicos, visando adequar as características da água às necessidades de processo.

Já para os efluentes, o procedimento adotado consiste na coleta de todas as correntes geradas nos diversos processos industriais e encaminhamento das mesmas, por meio de tubulação, a um determinado local da indústria, denominado de sistema de tratamento de efluentes, no qual são utilizadas técnicas de tratamento que visem adequar as características desses efluentes aos padrões de lançamento estabelecidos em normas, sendo este conceito denominado de fim de tubo, ou mais conhecido como “*end of pipe treatment*”.

Esta filosofia foi herdada dos primórdios do desenvolvimento industrial, mostrando-se adequada para as condições da época, em função do número reduzido de instalações industriais, além dos padrões de controle ambiental serem bastante brandos, ou em muitos casos até inexistentes.

Atualmente, é facilmente constatado que a estratégia, até então, utilizada pela indústria para o gerenciamento de águas e efluentes não é adequada. A complexidade dos processos industriais, o aumento do número de indústrias, o aumento da demanda de água para abastecimento público e a maior conscientização da população com relação às questões ambientais, além do desenvolvimento e aplicação de normas cada vez mais restritivas, são os principais argumentos para justificar esta afirmação.

O atendimento às diretrizes de maximização do uso dos recursos hídricos e minimização dos impactos ambientais negativos, relativos à geração e ao lançamento de efluentes, exige o desenvolvimento de estratégias que possam conduzir a um melhor gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias. Nestas estratégias, ao contrário da filosofia anterior, deve-se considerar a água para o consumo industrial e os efluentes em um sistema único, o qual deveria ter a interface direta com os processos industriais.

Um fato importante que deve ser comentado é que para um modelo de gerenciamento dos recursos hídricos ser bem sucedido, é necessário que as indústrias, assim como os profissionais que, direta ou indiretamente, sejam responsáveis pelos processos ou sistemas industriais onde a água é utilizada, se conscientizem de que a água é um insumo de grande importância para as diversas atividades desenvolvidas, além de ser reconhecida como um bem público que apresenta valor econômico, devendo-se priorizar o uso das águas de melhor qualidade para o abastecimento humano.

#### **3.4.1 Prevenção à Poluição**

O termo *Produção Limpa*, que configura uma abordagem que privilegia a resolução dos problemas ambientais na fonte geradora, entende que enfrentar esses mesmos problemas exclusivamente a partir de práticas focadas no tratamento e descarte de resíduos não permite ganhos de eco-eficiência compatíveis com o desafio do desenvolvimento sustentável. Antes, a lógica da *Prevenção à Poluição* busca ganhos ambientais associados a ganhos econômicos. A experiência das empresas que adotam essa lógica mostra que, ao se focar o problema da poluição industrial na fonte geradora de resíduos, eliminando-se as perdas de processo que acabam se transformando em impactos ambientais, consegue-se uma maior produtividade no uso dos recursos naturais (SILVA, 2003).

Com base neste conceito, verifica-se que as questões relacionadas ao consumo de água e gerenciamento de efluentes também devem ser avaliadas com base nos princípios da Prevenção à Poluição que é, sem sombra de dúvida, a maneira mais lógica e racional de se trabalhar em qualquer atividade, já que são incorporados, em um único conceito, todos os princípios de um programa saudável de gerenciamento ambiental.

Prevenção à Poluição refere-se a qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que vise a redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, nos processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matéria prima e melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa, resultando em um aumento de eficiência no uso dos insumos (matérias primas, energia, água, etc.).

Segundo MIERZWA (2002), os princípios básicos da prevenção da poluição do modelo de gerenciamento das águas segue a uma hierarquia de atuação, conforme apresentada na Figura 3.3.



**Figura 3.3** - Princípios básicos relacionados à Prevenção da Poluição

As práticas de reciclagem fora do processo, tratamento e disposição dos resíduos gerados, não são consideradas atividades de Prevenção à Poluição, uma vez que não implicam na redução da quantidade de resíduos e/ou poluentes na fonte geradora, mas atuam de forma corretiva sobre os efeitos e as conseqüências oriundas do resíduo gerado.

### 3.4.2 Importância da Consolidação de um Balanço Hídrico

O conhecimento das correntes de água das unidades de processo é uma etapa muito importante, principalmente para a identificação de oportunidades de Prevenção da Poluição nos programas de minimização da utilização da água, bem como para a definição das estratégias a serem utilizadas com relação à captação, encaminhamento e tratamento das diversas correntes de efluentes geradas na indústria. Segundo BRAVO (2003), a consolidação do balanço hídrico e respectivos dados qualitativos constituem-se na tarefa mais complicada do trabalho e a que consome mais tempo. Muitos dos estudos têm demonstrado que um esforço significativo é requerido para o levantamento de dados que compoñham o balanço hídrico, particularmente no primeiro estágio da verificação das correntes de água existentes, sendo que o fechamento do balanço pode se tornar algo extremamente complexo.

Uma empresa, de posse de dados detalhados dos fluxos de água, tem uma ferramenta poderosa para iniciar programas de redução de consumo de água através da otimização dos processos. A análise *pinch* por exemplo, é uma metodologia que têm sido bastante aplicada em programas de redução do consumo de água industrial por meio da integração de processos que utilizam água para transferência de massa. Para se realizar esses programas, deve-se ter um conhecimento profundo tanto das características qualitativas dos fluxos, como também das quantitativas, bem como ter monitoradas as variações que podem ocorrer com essas correntes (MÓDENES, 1999).

De uma forma geral, para unidades industriais dotadas de programas mínimos de controle, ou que estejam subordinadas à forte restrição legal, a água de entrada, captada ou fornecida por terceiros, e a de saída, tratada em estação de tratamento de efluentes, é normalmente bem caracterizada, por causa dos seus usos nas utilidades e processos e devido à exigência legal de descarte. Porém, os projetos de reuso de água podem até prescindir de um balanço mais apurado de uma unidade industrial, contudo correm-se riscos do programa de conservação da água não utilizar a combinação mais eficiente e mais econômica para reuso. Sendo assim, neste trabalho procurou-se identificar o maior número possível de correntes hídricas e que estas pudessem descrever a totalidade do uso da água na REPLAN.

### 3.4.3 Reuso de Água

A reciclagem ou reuso de água não é um conceito novo na história do nosso planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, vem reciclando e reutilizando a água há milhões de anos, e com muita eficiência.

A quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas atividades consumidoras em uma indústria dependem de seu ramo de atividade e capacidade de produção. O ramo de atividade da indústria, que define as atividades desenvolvidas, determina as características de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que em uma mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade. A oportunidade para o uso de água de qualidade inferior à que está sendo atualmente utilizada é abundante, e, conceitualmente, efluentes recuperados poderiam ser usados em muitas circunstâncias no lugar onde atualmente água de melhor qualidade está sendo usada.

Nos dias de hoje, sob a influência do tema escassez futura de água, são várias as correntes literárias e inclusive a mídia a divulgarem artigos a respeito do uso racional e do reuso de água.

O reuso pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não. A Organização Mundial da Saúde (WHO - 1973) classifica as formas de reuso como:

- *Reuso indireto*: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- *Reuso direto*: é o uso planejado e deliberado de efluentes tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- *Reciclagem*: é o reuso de água internamente às instalações industriais, sem qualquer tipo de tratamento, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Existem diversas classificações diferentes das termologias apresentadas anteriormente. Neste trabalho, menciona-se reuso para todas as formas de reutilização da água, previamente tratada ou não, sendo discriminado no texto que tipo de reuso está sendo referido.

A adoção de métodos de conservação utilizando técnicas de reuso constitui um passo importante e estratégico para alavancar o desenvolvimento sustentável tendo em vista que uma série de benefícios podem ser obtidos. Estes benefícios foram apresentados no Manual de Conservação e Reuso de Água para a Indústria elaborado pela FIESP/CIESP, e são eles:

### **BENEFÍCIOS AMBIENTAIS:**

- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas do Estado de São Paulo.
- Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.
- Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.

### **BENEFÍCIOS ECONÔMICOS:**

- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais;
- Mudanças nos padrões de produção e consumo;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.

### **BENEFÍCIOS SOCIAIS:**

- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva;



- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

O reuso de água se tornará muito mais comum conforme a demanda de água exceder o fornecimento, e ainda, os dois grandes fatores para o crescimento do reuso de água seriam, primeiramente, a falta de suprimento e, segundo, uma variada disponibilidade de modernos processos de tratamento para o incremento da qualidade de águas residuárias visando o reuso.

Em termos de diretrizes políticas, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União como um dos instrumentos da gestão dos recursos hídricos, definida pela Lei nº 9.433/97, operacionalizada pela ANA, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, constitui-se em um incentivo ao reuso de água, uma vez que o usuário que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação e lançamento e conseqüentemente tem sua cobrança reduzida. Dependendo das vazões utilizadas, o montante de recursos economizados com a redução da cobrança em função do reuso pode cobrir os custos de instalação de um sistema de reuso da água na unidade industrial.

#### **3.4.4 Legislação no Brasil**

A ênfase legislativa incide na racionalização do uso primário da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Pouco, ou quase nada houve de preocupação legislativa no Brasil para fixação de princípios e critérios para a reutilização da água. Porém, a própria legislação em vigor, ao instituir fundamentos da gestão de recursos hídricos, cria condições jurídicas e econômicas para a hipótese do reuso de água como forma de utilização racional e de preservação ambiental.

A escassez dos recursos hídricos obriga a mudança do regime das águas, tornando-as públicas, fazendo que se dê ênfase à preservação dos cursos d'água e à sua qualidade.

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, fixando fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de

indicar claramente a posição e orientação pública no processo de gerenciamento dos recursos hídricos. Para simplificar, será abordado apenas os fundamentos mais importantes, que são:

- “A água é um bem de domínio público”, cumprindo os ditames constitucionais de que não há mais água de domínio privado no Brasil.
- “A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”.
- “Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”.
- “A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”.
- “A bacia hidrográfica é a unidade territorial básica”, indica a área de atuação da política e do sistema gerenciador dos recursos hídricos.
- “A gestão descentralizada e participativa do poder público, dos usuários e das comunidades”, em atendimento às recomendações da Declaração de Paris.

No mérito do reuso, a própria lei que disciplina a Política Nacional de Recursos Hídricos em vários momentos acena para a necessidade de racionalizar o uso da água como forma de garantir o abastecimento futuro da população, mencionando sobre metas de racionalização, melhoria da qualidade dos recursos hídricos e que a cobrança pelo uso objetiva incentivar a racionalização.

O desenvolvimento de novas tecnologias capazes de garantir economia de recursos ambientais e racionalização está tratado juridicamente na Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional de Meio Ambiente. Ela prevê como princípio norteador das ações governamentais “incentivos ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso nacional e a proteção dos recursos ambientais”, bem como a

“racionalização do uso da água”. A lei também especifica “incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental”.

A outorga é o ato que concede ao interessado a possibilidade de explorar os recursos hídricos na forma e sob as condições previstas em lei, tendo como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos seus usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

O impacto da outorga para o reuso de água reside no fato de que, a partir da implantação do reuso no processo produtivo, fica o usuário automaticamente dispensado de qualquer autorização por parte do poder público para o próprio reuso da água, uma vez que sua reutilização não se enquadra em nenhuma das hipóteses legais desse tipo de concessão.

Os casos em que há necessidade de outorga são:

- derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- lançamento em corpo de água de esgoto e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final (um outro caso não previsto na legislação em que a outorga é imprescindível seria o da dissipação da energia térmica pelo lançamento em corpos d'água);
- aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água;
- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Independem de outorga, captações, lançamentos ou acumulações insignificantes de água.

A revogação do ato de outorga pode se dar por interesse público superveniente, devidamente caracterizado e fundamentado pela administração. Ou seja, caso haja o implemento de algumas condições, o direito de outorga poderá ser total ou parcialmente suspenso, temporária ou definitivamente. Essas hipóteses são:

- não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga;
- ausência de uso por três anos consecutivos;
- necessidade premente de água para atender as situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas;
- necessidade de prevenir ou reverter grave degradação ambiental;
- necessidade de atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas;
- necessidade de ser mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.

Aquele que recebe a outorga de recursos hídricos poderá fazer o uso para o fim que lhe foi concedido. A outorga não implica a alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso. Isso equivale a afirmar que aquele que recebe a outorga não se transforma em seu proprietário, mas mero usuário do recurso, ainda que possa transformar sua qualidade para pior, por meio de processo produtivo.

## **A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA**

Dentre os instrumentos previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, a cobrança pelo uso da água, materializando o princípio do *usuário-pagador*, talvez seja

aquele que trará maior incentivo ao reuso de água como forma de minimização de passivo ambiental. Embora a regra do *poluidor-pagador* favoreça tecnologias que permitem o descarte final da menor quantidade de efluentes, a cobrança pelo uso da água incentivará, por um lado, uma captação cada vez menor e, por outro, o reaproveitamento dos efluentes no processo produtivo interno ou para reuso de terceiros.

A cobrança pelo uso da água objetiva:

- afirmar, na prática, o fundamento segundo o qual a água é um bem econômico, reconhecendo esse fato concretamente;
- dar ao usuário interessado ou não na outorga de direitos de uso uma indicação de seu real valor;
- incentivar a racionalização do uso da água, por meio da cobrança pelo uso como instrumento econômico;
- incentivar direta ou indiretamente o reuso de água, esgotos ou efluentes, como forma de racionalizar o reaproveitamento dos recursos hídricos, ensejando a diminuição de sua demanda;
- obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Considerando que a cobrança pelo uso da água é tratada de forma regionalizada, serão apresentados, para conhecimento, os principais pontos acertados para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

A cobrança passou a ser realizada nas Bacias do PCJ em 1º de janeiro de 2006. São cobrados os usos de recursos hídricos de acordo com mecanismos de cobrança e dos valores a serem cobrados, denominados “Preços Unitários Básicos - PUB”. Os PUB serão devidos, a partir da implementação da cobrança nas Bacias PCJ, da seguinte forma:

- I - 60 % dos PUBs, nos primeiros 12 meses;
- II - 75 % dos PUBs, do 13<sup>o</sup> ao 24<sup>o</sup> mês;
- III - 100 % dos PUBs, a partir do 25<sup>o</sup> mês, inclusive.

Das definições:

- I - volume anual de água captada do corpo hídrico, exceto para transposição, indicado por “Q<sub>cap</sub>”;
- II - volume anual lançado no corpo hídrico, indicado por “Q<sub>lanç</sub>”;
- III - volume anual de água consumida (diferença entre o volume captado e o lançado) do corpo hídrico, indicado por “Q<sub>cons</sub>”;
- IV - carga orgânica lançada no corpo hídrico, indicada por “CO<sub>DBO</sub>”.

A cobrança pela captação de água será feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{cap}} = (K_{\text{out}} \times Q_{\text{cap out}} + K_{\text{med}} \times Q_{\text{cap med}}) \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap classe}},$$

sendo:

Valor<sub>cap</sub> = pagamento anual pela captação de água;

K<sub>out</sub> = peso atribuído ao volume anual de captação outorgado;

K<sub>med</sub> = peso atribuído ao volume anual de captação medido;

Q<sub>cap out</sub> = volume anual de água captado, em m<sup>3</sup>, em corpo d'água de domínio da União, segundo valores da outorga, ou verificados pela ANA no processo de regularização;

Q<sub>cap med</sub> = volume anual de água captado, em m<sup>3</sup>, em corpo d'água de domínio da União, segundo dados de medição;

PUB<sub>cap</sub> = Preço Unitário Básico para captação superficial;

K<sub>cap classe</sub> = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação (ver Tabela 3.3).

**Tabela 3.3** – Valores do coeficiente de enquadramento dos corpos hídricos das bacias do

PCJ -  $K_{\text{cap classe}}$

Classe de uso do curso d'água	$K_{\text{cap classe}}$
1	1,0
2	0,9
3	0,9
4	0,7

Os valores de  $K_{\text{out}}$  e  $K_{\text{med}}$  da fórmula da cobrança de captação serão definidos conforme segue:

I - quando  $(Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}})$  for maior ou igual a 0,7 será adotado  $K_{\text{out}} = 0,2$  e  $K_{\text{med}} = 0,8$ , ou seja:  $\text{Valor}_{\text{cap}} = (0,2 \times Q_{\text{cap out}} + 0,8 \times Q_{\text{cap med}}) \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap classe}}$ ;

II - quando  $(Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}})$  for menor que 0,7 será acrescida à equação uma parcela de volume a ser cobrado correspondente à diferença entre  $0,7 \times Q_{\text{cap out}}$  e  $Q_{\text{cap med}}$  com  $K_{\text{med extra}} = 1$ ; ou seja:  $\text{Valor}_{\text{cap}} = [0,2 \times Q_{\text{cap out}} + 0,8 \times Q_{\text{cap med}} + 1,0 \times (0,7 \times Q_{\text{cap out}} - Q_{\text{cap med}})] \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap classe}}$ ;

III - quando não existir medição de volumes captados será adotado  $K_{\text{out}} = 1$  e  $K_{\text{med}} = 0$ ; ou seja:  $\text{Valor}_{\text{cap}} = Q_{\text{cap out}} \times \text{PUB}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap classe}}$ ;

IV - quando  $Q_{\text{cap med}}/Q_{\text{cap out}}$  for maior que 1 (um), será adotado  $K_{\text{out}} = 0$  e  $K_{\text{med}} = 1$ .

A cobrança pelo consumo de água será feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{cons}} = (Q_{\text{capT}} - Q_{\text{lançT}}) \times \text{PUB}_{\text{cons}} \times (Q_{\text{cap}} / Q_{\text{capT}}), \text{ sendo:}$$

$\text{Valor}_{\text{cons}}$  = pagamento anual pelo consumo de água;

$Q_{\text{cap}}$  = volume anual de água captado em  $\text{m}^3$  (igual ao  $Q_{\text{cap med}}$  ou igual ao  $Q_{\text{cap out}}$  se não existir medição, em corpos d'água de domínio da União);

$Q_{\text{capT}}$  = volume anual de água captado total em  $\text{m}^3$  (igual ao  $Q_{\text{cap med}}$  ou igual ao  $Q_{\text{cap out}}$  se não existir medição, em corpos d'água de domínio da União, dos Estados mais aqueles captados diretamente em redes de concessionárias dos sistemas de distribuição de água);

$Q_{\text{lançT}}$  = volume anual de água lançado total, em  $\text{m}^3$ , (em corpos d'água de domínio dos Estados, da União ou em redes públicas de esgotos);

$PUB_{cons}$  = Preço Unitário Básico para o consumo de água.

A cobrança pelo lançamento de carga orgânica será feita de acordo com a seguinte equação:

$$Valor_{DBO} = CO_{DBO} \times PUB_{DBO} \times K_{lan\ ç\ classe}, \text{ onde:}$$

$Valor_{DBO}$  = pagamento anual pelo lançamento de carga de  $DBO_{5,20}$ ;

$CO_{DBO}$  = carga anual de  $DBO_{5,20}$  efetivamente lançada, em kg;

$PUB_{DBO}$  = Preço Unitário Básico da carga de  $DBO_{5,20}$  lançada;

$K_{lan\ ç\ classe}$  = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo de água receptor.

O valor de  $K_{lan\ ç\ classe}$  da fórmula da cobrança pelo lançamento será igual a 1 (um) durante os dois anos primeiros da cobrança nas Bacias PCJ.

O valor da  $CO_{DBO}$  será calculado conforme segue:

$$CO_{DBO} = C_{DBO} \times Q_{lan\ ç\ Fed}, \text{ onde:}$$

$C_{DBO}$  = concentração média anual de  $DBO_{5,20}$  lançada, em kg/m<sup>3</sup>

$Q_{lan\ ç\ Fed}$  = volume anual de água lançado, em m<sup>3</sup>, em corpos d'água

O valor total que cada usuário de recursos hídricos deverá pagar referente à cobrança pelo uso da água será calculado de acordo com a seguinte equação:

$$Valor_{Total} = (Valor_{cap} + Valor_{cons} + Valor_{DBO}), \text{ onde:}$$

$Valor_{Total}$  = pagamento anual pelo uso da água, referente a todos os usos do usuário;

A cobrança pelo uso de recursos hídricos nos corpos d'água de domínio da União existentes nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí será feita levando-se em consideração os valores dos “Preços Unitários Básicos-PUB” demonstrados na Tabela 3.4.



**Tabela 3.4** – Valores integrais cobrados na bacia do PCJ para cada tipo de uso.

<b>Tipo Uso</b>	<b>PUB</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Captação de água bruta	$PUB_{cap}$	R\$/m <sup>3</sup>	0,01
Consumo de água bruta	$PUB_{cons}$	R\$/m <sup>3</sup>	0,02
Lançamento de carga orgânica DBO <sub>5,20</sub>	$PUB_{DBO}$	R\$/kg	0,10

Os recursos financeiros arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas Bacias PCJ serão aplicados de acordo com o Programa de Investimento constante do Plano de Bacias PCJ e regras de hierarquização de empreendimentos que forem aprovados no âmbito das Bacias PCJ.

### **3.5 Reusos de Água em Refinarias de Petróleo**

Aqui serão discutidas possibilidades para reutilizar água contribuindo para o desenvolvimento sustentável, focando ações em que a REPLAN ainda não é atuante. Assim, serão abordadas duas possibilidades: Reutilização de água proveniente de esgoto doméstico para reposição das torres de resfriamento e Reuso de água nas piscinas de Coque. Explicações em detalhes sobre esses sistemas consumidores de água serão dadas no capítulo posterior.

#### **3.5.1 Reciclagem de Esgoto Doméstico para o Sistema de Resfriamento**

No caso da REPLAN, o volume de esgoto doméstico gerado não justifica realizar investimentos para este tipo de reuso. Porém, em casos de extrema necessidade, deve-se considerar a hipótese de utilizar esgoto proveniente de cidades como Paulínia ou Campinas, tendo como exemplo o estudo discutido a seguir.

Pesquisas realizadas em diversos países, inclusive no Brasil, procuram tornar viáveis o reuso de água em sistemas de resfriamento como uma forma de suavizar o

consumo total da planta industrial. Isto é possível, pois geralmente estes sistemas não requerem uma água de reposição de excelente qualidade, já que as tecnologias desenvolvidas dos produtos químicos para tratamento da água e as próprias torres de resfriamento tornaram possíveis este tipo de economia.

Alguns trabalhos apresentam resultados e discussões sobre a reciclagem de esgoto doméstico em torres de resfriamento de refinarias, que, como será discutido posteriormente, trata-se do maior consumidor de água em indústrias desse segmento. Em um deles, Bresnahan (1997) apresentou resultados da utilização de água reciclada proveniente do esgoto municipal da cidade de Los Angeles, Estados Unidos. A West Basin Municipal Water District (WBMWD), empresa que fornece água aos departamentos de água da cidade e às companhias de água da região, recebia o esgoto tratado da estação de tratamento de efluentes municipal e efetuava tratamento que consistia na floculação, clarificação, filtração e desinfecção para que a água chegasse ao padrão estabelecido pelo órgão fiscalizador California Department of Health Services in Administration Code Title 22, sendo a água, denominada Title 22, quando atendessem a estes padrões. Esta água era enviada à refinaria, onde o tratamento para remoção de amônia era realizado em uma planta específica, sendo denominada água Title 22 tratada (ver parâmetros de ambas na Tabela 3.5). Desta forma, 80 % (690 m<sup>3</sup>/h) de toda a demanda dos sistemas de resfriamento da refinaria eram provenientes do esgoto doméstico reciclado.

Mas para essas ações serem implementadas, a refinaria sofreu etapas de estudos relacionados ao potencial impacto da utilização desta “nova água” em suas operações. São elas:

- Vistoria da refinaria
- Estudos piloto de laboratório
- Estudos de modelos computacionais de previsão
- Experiência corporativa

### **VISTORIA DA REFINARIA**

Inicialmente foram feitas análises de viabilidade técnica e de investimento do sistema como um todo. Preferiu-se não utilizar 100% de água reciclada porque não se conheciam, ao certo, as operações futuras de alguns sistemas e/ou a quantidade de água

requerida não justificava o capital a ser investido para construir novas tubulações e outras modificações.

Nesta etapa também foram levantadas informações dos usuários de água, materiais dos equipamentos, taxas de corrosão históricas, condições de alimentação do equipamento, dispositivos de monitoramento da qualidade da água e custos do tratamento químico. Para monitoramento futuro, dados de transferência de calor de trocadores considerados críticos também foram reunidos e identificados em cada sistema.

**Tabela 3.5 – Médias esperadas para as águas Title 22 e Title 22 tratada**

	<b>Água Title 22</b>	<b>Água Title 22 tratada</b>
Cálcio (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	134	134
Magnésio (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	94	94
Ferro (mg/L Fe)	0,9	0,9
Amônia (mg/L NH <sub>3</sub> )	18	0
Sílica (mg/L SiO <sub>2</sub> )	27	27
Cloreto (mg/L Cl)	265	280
Alcalinidade (mg/L como CaCO <sub>3</sub> )	255	241
Fosfato total (mg/L PO <sub>4</sub> )	7	7
Ortofosfato (mg/L PO <sub>4</sub> )	6	6
Sulfato (mg/L SO <sub>4</sub> )	166	194
Nitrato (mg/L NO <sub>3</sub> )	7,3	88
Nitrito (mg/L NO <sub>2</sub> )	8	0
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	794	983
pH	7,4	7,4
Sólidos suspensos totais (mg/L)	2	3
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	10	2,4
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	46	46

Fonte: Bresnahan (1997)

## ESTUDOS PILOTO DE LABORATÓRIO

Três fornecedores de produtos químicos para tratamento de água de torres de resfriamento foram requisitados para realizarem estudos de laboratório e determinarem os programas ótimos de tratamento, com estimativas de custos. Dois fornecedores conduziram os estudos *in loco*, enquanto que o terceiro realizou os testes em seu laboratório. Paralelamente, a refinaria realizou testes de taxa de corrosão em laboratório próprio. As conclusões estão resumidas abaixo:

- A presença de amônia na água reciclada favoreceria dois problemas potenciais:
  1. Aumento de corrosão de ligas de cobre
  2. Dificuldade no controle do crescimento microbiológico em torres de resfriamento

A partir destes estudos, foi recomendada a remoção de amônia da água. Este processo de remoção consistia de decoloração, unidade de nitrificação biológica para destruição de > 90% da amônia, ajuste de pH e adição de hipoclorito de sódio para destruir a amônia residual. Um inibidor de corrosão em ligas de cobre (toliltriazol) também foi recomendado.

- A água proveniente da WBMWD já continha aproximadamente 6,0 mg/L de fosfato. A concentração de fosfato e cálcio devem ser controladas em faixas específicas, juntamente com o pH, caso contrário, fosfato de cálcio se forma, causando incrustação nos trocadores de calor. Com isso, o programa de tratamento químico existente (zinco e fosfato) não se mostrou adequado.
- A concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água Title 22 era praticamente o dobro da água utilizada anteriormente, aumentando a corrosividade. Porém, na presença de fosfato com concentração entre 20 e 25 ppm, obtiveram-se uma taxa de corrosão em 7 dias de testes de 0,13 mm/ano por meio de cupons de prova de aço carbono (material de 90 % dos trocadores de calor da refinaria) com água a pH = 7, 1.400 mg/L de cloreto e 43 °C. Sem a presença de fosfato, as taxas de corrosão foram de 1,3 mm/ano a 2,0 mm/ano em uma água sintética.
- Na Tabela 3.6 é descrito as componentes chaves do programa. Toliltriazol, copolímeros dispersantes, hipoclorito de sódio, ácido sulfúrico e surfactantes foram

adicionados para suplementar o fosfato presente na água reciclada. Limites máximos para cálcio, cloreto, condutância e sílica também foram estabelecidos.

**Tabela 3.6 – Programa de Tratamento Químico**

	<b>Limites do Tratamento</b>
Fosfato total (mg/L PO <sub>4</sub> )	20 - 30
Fosfato solúvel (mg/L PO <sub>4</sub> )	18 - 27
Toliltriazol (mg/L)	2
Copolímeros dispersantes	10
Cloro livre (mg/L Cl <sub>2</sub> )	0,1 – 0,5
Surfactante não iônico (mg/L)	< 5
<b>Parâmetros de qualidade da água</b>	
Cálcio (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	< 1.000
pH	6,8 – 7,4
Condutância (µS/cm)	< 7.000
Sílica (mg/L SiO <sub>2</sub> )	< 150
Cloreto (mg/L Cl)	< 1.700
<b>Indicadores de performance</b>	
Corrosão de aço carbono	< 0,05mm/ano
Contagem geral de bactérias aeróbias	< 100.000/mL
Ciclos de concentração	4,5 – 5,5

## ESTUDOS DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE PREVISÃO

Um modelo de previsão computacional dos compostos químicos presentes em torres de resfriamento foi usado para determinar o potencial de corrosão e incrustação utilizando a referida água reciclada. O modelo previu, mesmo a baixos ciclos de concentração, níveis de saturação muito altos para fosfato tricálcio. Copolímeros aniônicos solúveis em água foram incluídos no tratamento para dispersar ou inibir a formação desses produtos incrustantes.

## EXPERIÊNCIA CORPORATIVA

Refinarias na Europa, Ásia e América do Norte têm usado efluentes industriais como água de reposição em torres de resfriamento. Os problemas enfrentados são comuns nessas unidades, podendo-se destacar:

- O efetivo controle microbiológico foi a chave do sucesso em todos os casos. Para isso, o gás cloro foi o biocida que se mostrou com o melhor custo benefício. Hipoclorito de sódio líquido também se mostrou efetivo, e figura como a melhor alternativa ao gás cloro. Devido ao risco potencial associado ao gás cloro, o hipoclorito de sódio foi selecionado para aplicação naquela refinaria.
- Uma dosagem acima da recomendada do gás cloro ou mesmo do hipoclorito poderia causar, além de maiores custos que o necessário, a degradação dos inibidores de corrosão e dispersantes. Por outro lado, dosagens abaixo da recomendada rapidamente resultaria em diversos problemas microbiológicos, já que a água continha grandes quantidades de nutrientes (fosfato, nitrogênio e sulfato). Por isso foi implantado um sistema controlado por uma sonda que monitora o potencial de oxidação-redução da água, o que mostrou grande efetividade para este propósito.
- Todos os locais relataram a necessidade de uma maior atenção dos operadores para as torres de resfriamento. Para facilitar, sugere-se que o sistema de aplicação dos produtos químicos seja automatizado como segue:
  - controle manual e automático do pH e adição de  $H_2SO_4$
  - controle manual e automático da adição do inibidor de corrosão e do dispersante baseado ou na água de alimentação ou no traçador de controle
  - controle manual e automático da adição de hipoclorito de sódio baseado no potencial de oxidação-redução
  - controle manual e automático das descargas para desconcentração baseado na condutância
  - monitoramento on-line da corrosão
  - monitoramento on-line da formação de depósitos

## **RESULTADOS**

### **QUALIDADE DA ÁGUA E TRATAMENTO QUÍMICO SELECIONADO**

Em geral, com exceção de pequenos problemas na planta de tratamento de esgoto na fase de implantação, a qualidade da água de alimentação das torres foi próxima à esperada. A planta de nitrificação e os programas de tratamento químico atuaram adequadamente. A amônia foi reduzida abaixo dos níveis detectáveis ( $< 1\text{mg/L}$ ) na água de recirculação. Nenhuma modificação significativa foi necessária nos programas de tratamento proposto. As dosagens químicas eram conservadoramente altas nos primeiros dias, sendo lentamente reduzidas.

Inicialmente, as torres foram mantidas entre 3 e 4 ciclos de concentração durante 8 semanas. Os ciclos foram então aumentados em  $\sim 0,5$  a cada 3 semanas até que o limite de condutância de  $7.000\ \mu\text{S/cm}$  foi alcançado, correspondendo de 4,5 a 5,0 ciclos de concentração.

### **CONTROLE DA CORROSÃO, INCRUSTAÇÃO E CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO**

As taxas de corrosão medidas foram de  $0,05\ \text{mm/ano}$ , consideradas baixas e dentro do objetivo inicial. Em períodos em que a demanda de cloro foi alta, taxas de corrosão maiores que a normal foram observadas. Durante o problema, a contagem de bactérias aeróbias aumentou e o monitoramento também indicou a presença de deposição. Todos os indicadores (corrosão, deposição, contagem de bactérias e residual de cloro) retornaram aos níveis normais após a qualidade da água ser restabelecida. Nenhum efeito adverso no processo de resfriamento ou operação da planta foi observado.

A contagem de bactérias aeróbias foi realizada semanalmente e se manteve muito baixa ( $< 10^4$  colônias/mL), exceto por um período de uma semana em que a qualidade da água foi problemática, com a contagem chegando a  $10^6$  colônias/mL. Com o aumento da adição de hipoclorito de sódio, a situação voltou à normalidade.

Uma espuma estável foi formada nas torres de resfriamento quando esta passou a receber água da planta de tratamento de esgoto. Este problema foi resolvido através do aumento da cloração e o uso de anti-espumantes.

Para a conclusão final do trabalho, após aproximadamente dois anos em que a refinaria passou a usar água reciclada, foram feitas inspeções que confirmaram que os equipamentos estavam protegidos de corrosões e incrustações.

### **3.5.2 Reuso de Água Ácida Retificada nas Piscinas dos Coques**

O objetivo é informar as condições necessárias para consolidação do reuso de água ácida retificada nas piscinas de Coques e apresentar a situação atual da REPLAN nestes sistemas.

Uma grande utilização de água filtrada é efetuada para o resfriamento de coque após a pirólise da carga. Esta água não tem nenhuma restrição importante. As principais detectadas é a possibilidade de odores na área e a corrosão dos equipamentos.

Com relação aos odores, PETRÓLEO BRASILEIRO (2002) comenta que os contaminantes restritivos são a amônia, sulfeto e fenóis, com atenção para os dois últimos, uma vez que existe histórico no mundo de desprendimento de odor de amônia e fenol quando reutilizada água em piscinas de coque. Há que se mencionar, no entanto, que o desprendimento de odor não dependerá somente de teor. Há os problemas de variação de temperaturas e intensidade de ventos locais, por exemplo. Estes pontos não podem ser tomados independentemente de uma avaliação local. Portanto, a sugestão é que se utilize tais valores como restrição inicial e se faça adequações localmente em cada planta industrial que resolver envidar esforços no sentido deste reuso.

Outro problema que se menciona é a presença de cloretos. Foi ponderado que a presença deste contaminante tem repercussões para a aplicação eletroquímica de coques, de forma que deve ser efetuado um balanço em relação ao cloreto presente na carga. Porém, para aplicação na fabricação de coque combustível, há uma restrição importante no que tange à recorrente demanda de informações sobre dioxinas. Estes componentes seriam gerados em processos de combustão de hidrocarbonetos em presença de cloro orgânico, porém a presença de cloretos é freqüentemente questionada como um possível precursor de dioxinas.



Outro ponto importante é o fato de que uma quantidade muito grande de cianeto pode tender ao produto. Desta forma, poderá ser gerado um ambiente corrosivo.

Tomando-se pela avaliação de águas que circulam em aberto nas refinarias da PETROBRAS, como as águas contaminadas e oleosas, foram sugeridos valores restritivos para estes contaminantes que são especificados na Tabela 3.7.

Com relação à situação da REPLAN, também é mostrado na Tabela 3.7, as características da água proposta para reuso (Unidade de Retificação de Água Ácida). Esta unidade retifica água exclusivamente dos HDT, sendo caracterizada como de relativa qualidade e isenta de soda. Todas as análises foram feitas pelo laboratório da REPLAN. Para o  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{Cl}^-$ , por se tratarem de parâmetros de controle do laboratório, contamos com uma base de dados desde Fevereiro/2006. Já para o Fenol e o  $\text{CN}^-$  foi feito uma solicitação de análise para os dias 29/06/2006, 30/06/2006, 03/07/2006, 04/07/2006 e 05/07/2006.

Alguns dias do período estudado não apresentou retificação adequada para  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$  (Junho/2006 – dias 13; 14; 24 e 27). Considerando os demais períodos (01/02/2006 – 12/06/2006), os parâmetros se mostraram relativamente constantes, com suas características médias e de pico mostradas também na Tabela 3.7.

Do ponto de vista quantitativo, estima-se que seria reutilizado aproximadamente  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . A demanda de água para as duas unidades de Coque é de  $32 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo possível dividir os  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  entre as duas unidades e complementar com “água nova”.

**Tabela 3.7** - Concentração indicada e analisada para os contaminantes restritivos

	[ ] indicada ppm	Saída da Unidade de Retificação	
		[ ] média ppm	[ ] pico ppm
<b><math>\text{H}_2\text{S}</math></b>	< 70	1,22	24,0
<b><math>\text{NH}_3</math></b>	< 30	5,51	17,1
<b>Fenol</b>	< 40	1,6	2,1
<b><math>\text{Cl}^-</math></b>		6,2	12,4
<b><math>\text{CN}^-</math></b>	< 1	0,015	0,027
<b>pH</b>		9,2	7,8 – 11,8

Todos os parâmetros se enquadram no limite indicado pelo relatório apresentado por PETRÓLEO BRASILEIRO (2002). O único parâmetro em que não são dados valores limites foi para o cloreto, no entanto, a água utilizada atualmente (água filtrada) tem uma concentração de cloreto na faixa de 12 ppm, estando o dobro acima da média da água de reuso proposta e igual ao pico obtido no período de estudo.

Um fator imprescindível, se for decidido pelo reuso, é a instalação de analisadores para acompanhamento da concentração de amônia (visualizado como contaminante limitante). Este deverá possuir um sistema de aviso quando a concentração ultrapassar um determinado limite e bloquear sua reposição, para que não ocorra problemas de odor.

## 4. BALANÇO HÍDRICO DA REFINARIA DE PAULÍNIA (REPLAN)

### 4.1 Apresentação da Empresa

A Refinaria de Paulínia – REPLAN (ver Figura 4.1), situada às margens da rodovia SP 332 no km 132, município de Paulínia-SP, com uma área de 9,1 km<sup>2</sup>, entrou em operação em 2 de fevereiro de 1972. Para a implantação da Refinaria de Paulínia, foram considerados fatores como: concentração do mercado consumidor, facilidade de recebimento do petróleo, escoamento de derivados, disponibilidade de energia elétrica e **água**, área adequada em extensão e configuração para implantação do empreendimento e ampliações posteriores. A disponibilidade de água foi um dos fatores considerados por ser um insumo estratégico para a indústria de refino de petróleo.



**Figura 4.1** – Vista aérea da refinaria de Paulínia

Fonte: Intranet da REPLAN, 2003

Segundo AMORIM (2005), a produção da REPLAN destina-se aos mercados de São Paulo (55 %), Mato Grosso do Sul, Rondônia e Acre (20 %), sul de Minas Gerais e triângulo mineiro (10 %), Goiás, Brasília e Tocantins (15 %). Seus principais produtos são: óleo diesel, gasolina, GLP, nafta, querosene, coque, asfalto e solventes. A refinaria, no seu laboratório de motores, desenvolve formulações especiais para a Fórmula 1, motocross e motovelocidade, e também realiza pesquisas sobre desempenho de combustíveis em motores nacionais, além do atendimento às montadoras e fabricantes de motores do Brasil e do exterior.

A REPLAN, como maior refinaria da PETROBRAS e também a maior do país, configura papel de destaque e de grande importância para o Brasil. Na Tabela 4.1 é mostrada a quantidade de petróleo processado atualmente e a capacidade instalada de todas as refinarias do sistema PETROBRAS.

A REPLAN se apresenta como referência no sistema PETROBRAS quanto ao reuso e a prevenção dos desperdícios de água. Um parâmetro de fundamental importância para a comparação entre a eficiência produtiva de refinarias, levando-se em conta o consumo de água, é o Indicador de Consumo de Água – ICA. Este indicador é calculado pela razão entre o m<sup>3</sup> de água consumida e o m<sup>3</sup> de petróleo processado. Segundo AMORIM (2005), o ICA padrão adotado pelas refinarias de petróleo da Petrobras é igual a 0,9, preferencialmente na faixa entre 0,7 e 1,2. Atualmente a REPLAN se encontra com aproximadamente 0,7 m<sup>3</sup> de água/m<sup>3</sup> de petróleo processado.

**Tabela 4.1** – Carga processada por unidade de refino da PETROBRAS

<b>Refinarias</b>	<b>Capacidade Instalada (Mbpd)</b>	<b>Volume Processado (Mbpd)</b>	<b>Utilização (%)</b>
Paulínia - Replan (SP)	365	320	88
Landulpho Alves - Rlam (BA)	323	249	77
Duque de Caxias -Reduc (RJ)	242	242	100
Henrique Lage - Revap (SP)	251	241	96
Alberto Pasqualini - Refap (RS)	189	116	61
Pres. Getúlio Vargas - Repar (PR)	189	186	98
Pres. Bernardes - RPBC (SP)	170	157	92
Gabriel Passos - Regap (MG)	151	131	87
Manaus - Reman (AM)	46	44	96
Capuava - Recap (SP)	53	35	66
Fortaleza - Lubnor (CE)	6	5	83
Gualberto Villarroel - Bolívia	40	24	60
Ricardo Eliçabe - Argentina	31	26	84
Guilherme Elder Bell - Bolívia	20	16	80
San Lorenzo - Argentina	38	37	97
Total	2.114	1.829	87

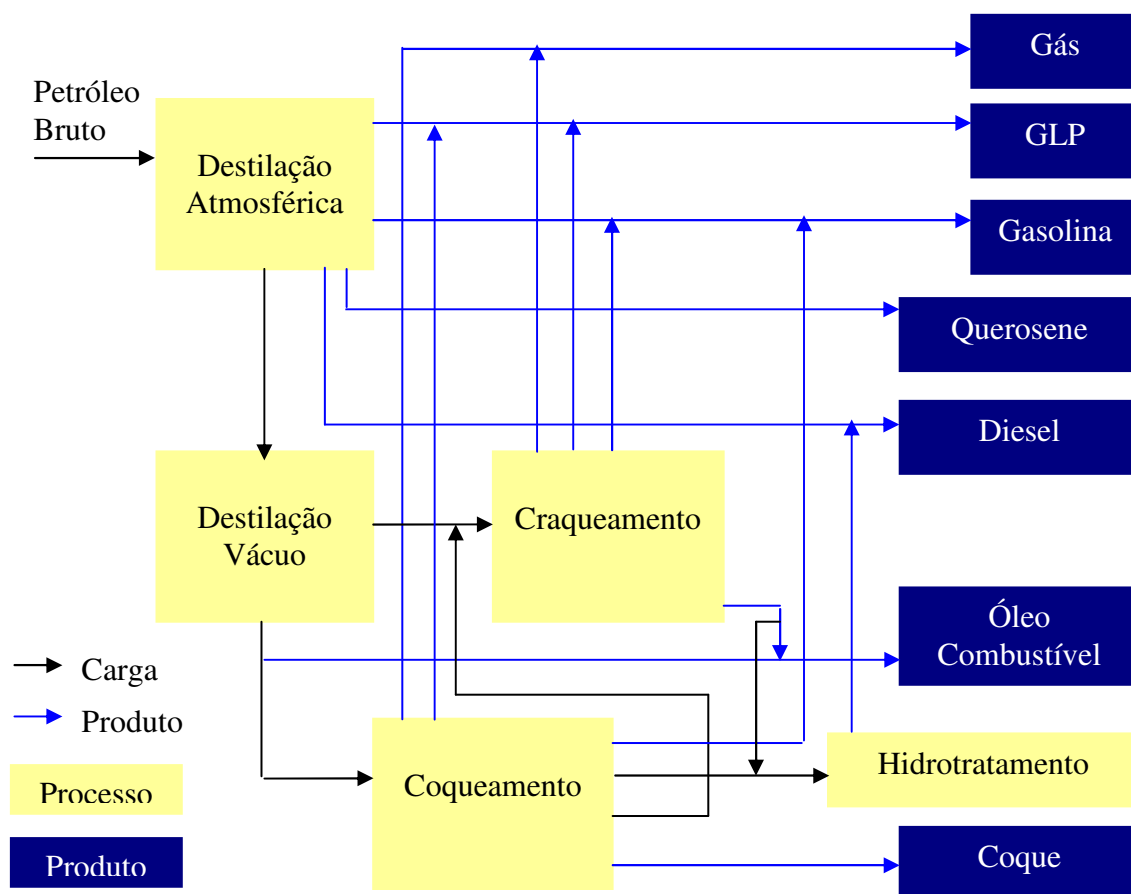
FONTE: [www.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.htm](http://www.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.htm)

## 4.2 Esquema de Refino

As refinarias de petróleo diferem de tamanho, complexidade, pelos processos existentes e pelo tipo de petróleo processado. Para produzir os derivados de petróleo, uma refinaria realiza diversos processos em suas plantas industriais, onde pode haver a geração dos produtos finais ou de cargas para alimentar outro processo dentro da planta.

A REPLAN, como mencionado anteriormente, é a maior refinaria do sistema PETROBRAS com uma capacidade de refino de 58.000 m<sup>3</sup>/dia. Segundo a ANP, seu esquema de refino compreendido por unidades de Destilação Atmosférica e à Vácuo,

Craqueamento Catalítico Fluidizado, Coqueamento e Hidrotratamento é o mais flexível e moderno, pois permite um maior equilíbrio na oferta de gasolina e de óleo diesel, gerando mais óleo diesel e menos gasolina que as configurações mais simplificadas. Essa flexibilidade é importante já que o diesel é o derivado que tem a maior participação no consumo brasileiro, cerca de 43 %. A opção pelo transporte rodoviário como principal meio de transporte em um país de dimensões continentais como o Brasil explica o alto consumo de diesel. Além disso, toda a frota de maquinários agrícolas e trens de carga empregam esse combustível. A gasolina participa com 15 % e o óleo combustível com aproximadamente 10 % (Portal COM CIÊNCIA). A Figura 4.2 demonstra o esquema de refino característico da REPLAN.



**Figura 4.2 - Moderno esquema de refino similar à REPLAN**

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Petróleo, 2006

### 4.3 Descrição das Unidades de Refino e Seus Usos de Água

A seguir é apresentado, com relativa simplificação, as unidades de refino que compõem a REPLAN e seus principais usos de água sob as diversas formas.

#### 4.3.1 U-200/A – Destilação Atmosférica e a Vácuo

É considerada como o principal processo de uma refinaria, a partir do qual os demais são alimentados.

Trata-se de um processo de separação dos componentes de uma mistura de líquidos miscíveis, baseado na diferença das temperaturas de ebulição de seus componentes individuais, obtendo-se, a partir do petróleo bruto: gás liquefeito, gasolina, querosene, diesel, gasóleo de vácuo e resíduo de vácuo. A destilação pode ser realizada em várias etapas e em diferentes níveis de pressão, conforme o objetivo que se deseja. Assim, quando se trata de uma unidade de destilação de petróleo bruto, pode-se ter a destilação atmosférica ou a vácuo.

Na destilação à pressão atmosférica, as frações mais leves são separadas e fracionadas de acordo com suas massas específicas. Os resíduos da destilação atmosférica do petróleo são de alta massa molar e de baixo valor comercial. Esses resíduos não podem ser separados por meio da destilação atmosférica, pois devido a suas altas temperaturas de ebulição à pressão atmosférica, é impossível vaporizá-las, já que existe um limite de 400 °C imposto pela decomposição térmica dos hidrocarbonetos pesados. Assim, se a pressão é diminuída, a temperatura de ebulição das frações também reduzirá, permitindo sua vaporização a temperaturas mais baixas que na destilação atmosférica. Desta forma, como pode ser visualizado na Figura 4.2, o resíduo da destilação atmosférica torna-se carga da destilação à vácuo, que mantém o mesmo princípio de separação da anterior.

Os principais usos da água nestas unidades são:

- **Dessalgação do petróleo bruto:** o processo de destilação tem início com o bombeamento contínuo de petróleo frio pelos vários trocadores de calor, onde este é progressivamente aquecido, ao mesmo tempo em que resfria os

produtos acabados (frações destiladas) que deixam a unidade, proporcionando uma economia de energia elevada. O conjunto de permutadores de calor dessa seção é conhecido como bateria de pré-aquecimento. Antes do petróleo ser enviado à seção de fracionamento, deverá passar pela dessalgadora para a remoção dos sais, água e partículas sólidas suspensas. Este processo consiste basicamente na lavagem do petróleo cru pré aquecido com água ácida retificada para misturar com a água residual, sais e sólidos presentes. A seguir, a mistura de petróleo, água e impurezas penetram no vaso de dessalgação, passando através de um campo elétrico de alta voltagem, mantido entre pares de eletrodos metálicos. As forças elétricas do campo provocam a coalescência das gotículas de água, formando gotas maiores, que, por terem uma maior densidade, caem através do petróleo bruto para o fundo da dessalgadora carregando sais dissolvidos e sedimentos. Esta solução, denominada salmoura é então enviada à Estação de Tratamento de Despejos Industriais, sendo responsável por grande parte do total de efluente gerado na refinaria. Existe uma relação salmoura/petróleo processado (5-8 %) que deve ser respeitada para garantir a segurança dos processos seguintes.

- **Injeção de vapor para controle de processo:** Todo o volume de vapor injetado nas torres de destilação atmosférica e destilação à vácuo entra em contato com hidrocarbonetos, originando água ácida, que será enviada às unidades de retificação.
- **Água temperada e tratamento bender:** A unidade de destilação conta com dois subsistemas denominados água temperada e tratamento bender que também utilizam água em seus processos. O sistema de água temperada é um circuito fechado de trocadores de calor, não apresentando perdas significativas. Por esse motivo, a reposição, que é proveniente do sistema de condensado da própria unidade, é considerada insignificante.

Já o tratamento bender é um processo com o objetivo de melhorar a qualidade do querosene de aviação transformando compostos sulfurados corrosivos (mercaptanas) em outras formas pouco agressivas (dissulfetos).



No processo, conjugam-se lavagens cáusticas e reações com enxofre por meio das ações de campos elétricos de alta voltagem. A utilização de água se resume à injeção em vasos, sendo posteriormente enviado à ETDI.

#### 4.3.2 U-220/A – Craqueamento Catalítico

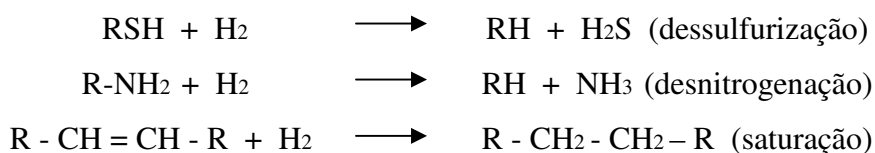
A Unidade de Craqueamento Catalítico tem como objetivo a produção de GLP e/ou gasolina a partir do gasóleo, resíduo da destilação à vácuo. Nesta unidade, ao contrário da destilação atmosférica e a vácuo, nas quais ocorria uma separação física em fracionadoras, ocorrem reações químicas, onde a carga entra em contato com o catalisador à uma temperatura de cerca de 500 °C, ocorrendo então a quebra dos hidrocarbonetos de cadeias moleculares longas, gerando uma mistura de hidrocarbonetos menores, que são, a seguir, separados em outra coluna de destilação.

Os principais usos de água são:

- **Injeção de vapor no reator para controle do processo:** Grande parte do vapor injetado no reator, por ter entrado em contato com hidrocarbonetos, é transformado em água ácida que é enviada às unidades retificadoras. Uma pequena parcela do vapor injetado é perdida para a atmosfera.
- **Lavagem de gases de topo da fracionadora:** Os gases de topo gerados nas fracionadoras contém contaminantes, como por exemplo  $H_2S$  e  $NH_3$ , que podem ser removidos, melhorando a qualidade do produto gerado, por meio da lavagem com água. Água ácida retificada é utilizada para este fim, tornando-se ácida novamente e retornando às unidades retificadoras.

### 4.3.3 U-283/A e U-241/A – Hidrotratamento de Correntes Instáveis (HDT) e Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH)

As frações de petróleo contêm impurezas que comprometem a sua qualidade quando utilizadas como combustíveis, por provocarem poluição, corrosão e odor, além de instabilidade no produto. Essas impurezas variam na sua natureza e quantidade, dependendo da origem do petróleo e do intervalo da faixa de destilação que se considerar. As mais comuns são o Enxofre e o Nitrogênio. O objetivo do HDT é hidrotratar derivados de petróleo da faixa de destilação do óleo diesel, para, principalmente, eliminar tais contaminantes pela hidrogenação catalítica, atuando também nos hidrocarbonetos insaturados, garantindo melhor estabilidade do produto. Abaixo, alguns exemplos das principais reações de hidrogenação:



sendo que R corresponde a uma cadeia carbônica.

As principais utilidades da água nesta unidade são:

- **Injeção de água ácida retificada a jusante do reator de hidrotratamento:** O objetivo desta injeção é diluir os sais, principalmente sais de amônio, para que não precipitem quando a carga, com temperatura de saída de aproximadamente 400 °C, for resfriada nos trocadores de calor. O volume injetado é recuperado por separação de fases óleo-água, e retornado para as unidades retificadoras de água ácida.
- **Injeção de vapor nas torres de retificação de diesel:** O H<sub>2</sub>S e outros hidrocarbonetos contidos no diesel produzem corrosão e abaixam o ponto de fulgor. Desta forma, devem ser removidos pela retificação com vapor. O volume injetado gera água ácida que é tratada nas unidades de retificação.
- **Injeção de vapor nos ejetores:** Sistema destinado à criação de vácuo. O vapor injetado gera água ácida que é enviada às unidades de retificação.

Paralelamente, a Unidade de Geração de Hidrogênio tem como função produzir hidrogênio a partir de hidrocarbonetos que reagem com água conforme a reação:



Ou seja, converter todo o carbono em CO<sub>2</sub> maximizando a produção de hidrogênio. Na REPLAN, podem ser utilizados como carga a gasolina ou gás metano, sendo preferível este último por se tratar de um combustível mais barato e limpo, fornecido pelo gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL).

Usos de água na unidade:

- **Reação para produção de hidrogênio:** Vapor entra em contato com a carga, sofrendo aquecimento em presença de um catalisador para obtenção de gás hidrogênio. Este volume é perdido e não é mais recuperado.
- **Injeção de vapor na torre retificadora de condensado:** Nesta torre, o condensado contaminado flui em contra corrente com o vapor. O condensado retificado e livre dos contaminantes é enviado para a Casa de Força como água de alimentação de caldeira. O vapor utilizado na retificação, juntamente com os contaminantes removidos (NH<sub>3</sub>, metanol, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) será enviado para a unidade de retificação de águas ácidas.

#### 4.3.4 U-980/A – Coqueamento Retardado

A unidade de Coqueamento Retardado tem por finalidade decompor termicamente o resíduo da destilação a vácuo, que seria normalmente vendido por preços mais baixos, e transformá-lo em produtos com maior valor comercial como: gás, GLP, gasolina, diesel e coque. Nesta unidade, a carga é aquecida a temperaturas que variam de 482 a 510 °C em um curto intervalo de tempo. O efluente parcialmente craqueado termicamente deixa o forno e entra no tambor de coque (reator) para permanecer por um período extenso ou “retardado”.

Embora a produção de coque de petróleo seja grande, os refinadores de petróleo estão interessados no coqueamento, principalmente por ser um meio de diminuir a quantidade de resíduos para os quais há um mercado limitado, transformando-os em

destilados mais leves e, desta maneira, melhorando o aspecto econômico global das refinarias.

A preocupação crescente em reduzir a poluição atmosférica também é um novo incentivo para processar resíduos nas unidades de coque. Os resíduos possuem alto teor de enxofre, que terminariam como poluentes atmosféricos nos produtos de combustão, quando os mesmos são usados como combustível. Já no processo de coqueamento, uma porção significativa deste enxofre é distribuída no gás e produtos destilados de maneira que possa ser removido economicamente, permanecendo o restante no coque como contaminante.

As utilidades da água nesta unidade são:

- **água para resfriamento e descoqueamento:** este sistema tem por finalidade resfriar e “soltar” o coque que se formou no reator. A operação é em circuito fechado, isto é, a água utilizada para o resfriamento e quebra do coque é reaproveitada posteriormente em novas etapas (ciclos de operação) dos reatores. Porém, perdas por evaporação ocorrem, necessitando de reposição, sendo utilizada água industrial (filtrada).
- **lavagem de gás de topo da fracionadora:** Água ácida retificada é utilizada para este fim. Este processo é semelhante ao já descrito para o Craqueamento Catalítico Fluído. Após o processo, a água é retornada às unidades retificadoras de água ácida.

Vale lembrar que água de resfriamento e vapor para geração de energia são utilizados em todas as unidades de processo. Quase sempre, contanto que não haja problemas como corrosão nas linhas ou em trocadores de calor, ou até mesmo contaminações, esses volumes não são perdidos, por se tratar de um sistema fechado, retornando às suas origens.

#### **4.4 Unidades de Processamento de Água da REPLAN**

Na REPLAN, assim como em todas as refinarias de petróleo, existem unidades que produzem água para utilidades no processo produtivo, no resfriamento de máquinas ou processos e na produção de vapor. Outras têm a função de condicionar a água para reutilização em outros processos, ou para ser descartada em corpos receptores. Na Figura

4.3 é mostrada, simplificadamente, as unidades de tratamento de água e usuários encontrados na refinaria. Tais unidades são brevemente descritas a seguir:

#### **4.4.1 U-610 e U620 – Captação e Estação de Tratamento de Água (ETA)**

No caso da REPLAN, tem por finalidade produzir água clarificada, filtrada (água industrial), potável e desmineralizada.

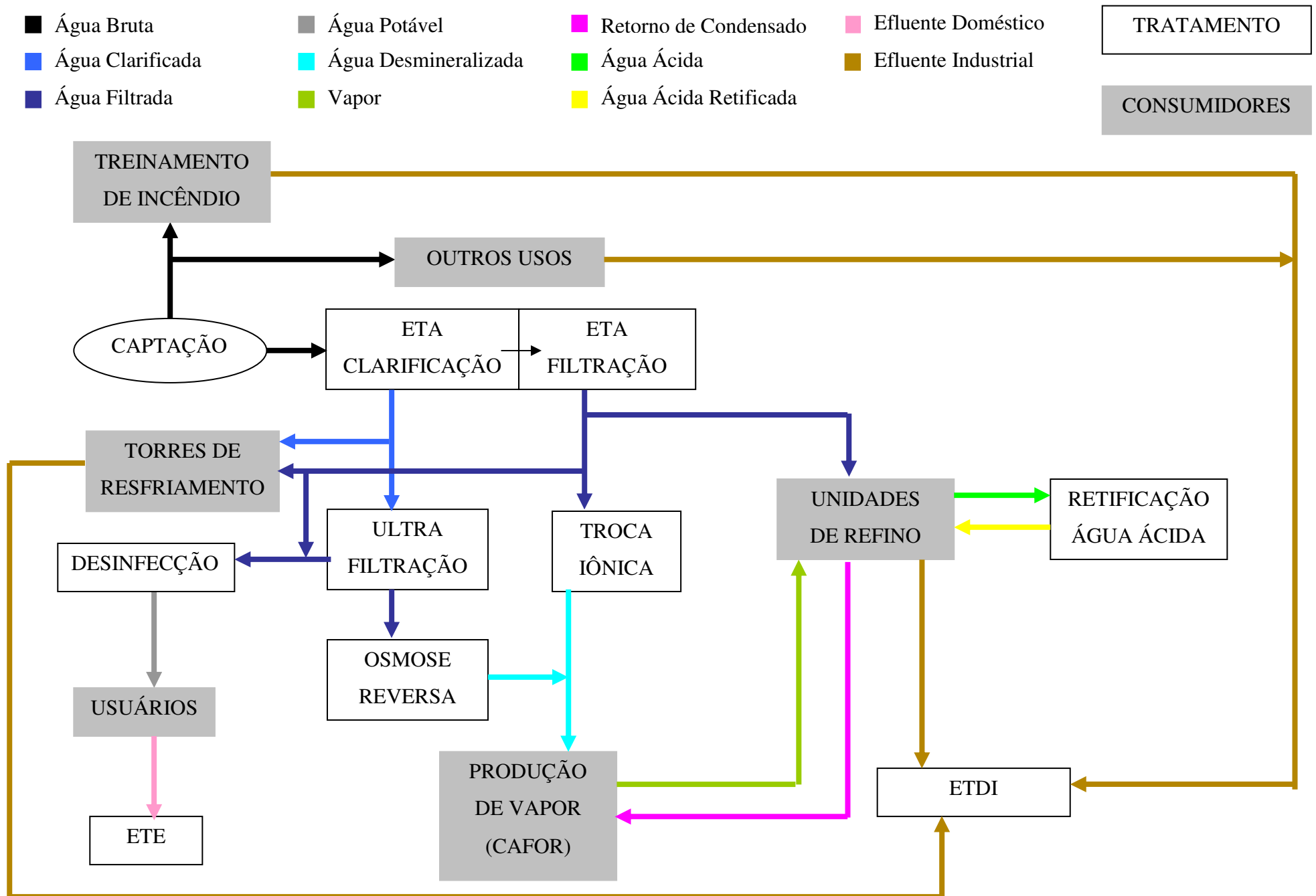
A água bruta é bombeada pelo conjunto de cinco bombas operando em paralelo e três adutoras, do rio Jaguarí para três tanques de armazenamento (TQ-6101 A/B/C) com volume total de 53.000 m<sup>3</sup>, cuja finalidade é garantir suprimento de água em caso de falha no sistema de adução, além de garantir reserva para o sistema de combate a incêndio. Esses tanques estão interligados entre si e por vasos comunicantes com o “tanque castelo” (TQ-6201) que alimenta os três clarificadores do tipo “pulsator” (V-6201 A/B/C) após dosagem de cloro e coagulante (Hidroxiclreto de Alumínio - PAC) na água bruta. Existe também outra saída de água bruta deste tanque para o sistema de combate a incêndio, que sustenta, além dos treinamentos do corpo de bombeiros, as lavagens de pisos, de equipamentos e tanques, testes hidrostáticos, entre outros.

O lodo gerado na clarificação é enviado para o TQ-6222, que serve como tanque de carga da unidade de desidratação de lodo (UDL). O lodo é bombeado para uma centrífuga, onde recebe dosagem de polímero. A água removida vai para o tanque de água recuperada (TQ-6223) e retorna para o início do tratamento, antes da clarificação, para ser reutilizada. O lodo adensado é colocado em caçambas para envio a aterro.

Parte da água clarificada é enviada para o tanque TQ-6202 que abastece a seção de ultrafiltração/osmose reversa e também repõe parte das perdas nas torres de resfriamento. A outra parte da água clarificada segue, através de canaletas, para os 8 filtros de areia (FT-6201 A/B/C/D/E/F/G/H). A água filtrada produzida é enviada para o tanque TQ-6203 para abastecer a seção de troca iônica, fornecimento de água aos processos de refino, produção de água potável e fornecimento complementar dos sistemas de resfriamento.

A ultrafiltração possui duas baterias em paralelo que produzem água para a osmose reversa, que por sua vez, fornece água desmineralizada para produção de vapor, na CAFOR.

A seção de troca iônica possui 5 baterias de desmineralização de água, contendo na ordem, vasos de descloração, troca catiônica, troca aniônica e leito misto. Sua finalidade também é produzir água desmineralizada para geração de vapor.



**Figura 4.3** – Diferentes formas de água encontradas na refinaria

#### 4.4.2 U-612/A – Torres de Resfriamento

A água, por ser um fluido de grande capacidade de absorção e dissipação de calor, é utilizada extensamente no campo industrial em sistemas que necessitam de troca térmica. Em refinarias, a torre de resfriamento, como o próprio nome diz, tem o objetivo de resfriar a água utilizada para retirar o calor cedido ao petróleo e correntes intermediárias nos fornos ou o calor gerado nas reações químicas nas diversas etapas do processo de refino, bem como o calor absorvido pela água de resfriamento utilizada nos condensadores de vapor de água. A água quente retorna para a torre de resfriamento onde entra em contato com o ar para ser resfriada e ser novamente utilizada na retirada de calor.

O sistema de resfriamento é considerado como fator de alta relevância no que se refere ao consumo de água em uma refinaria. Esse volume requerido é devido à necessidade de reposição das perdas que comumente são observadas nesses sistemas, e são elas: evaporação, arraste e drenagem para desconcentração. Considerando que o sistema deve operar com um volume praticamente constante, a totalidade da água perdida nas diversas formas deve ser reposta. Esta água é conhecida como água de reposição ou **água de make-up (R)**, onde:

$$R = E + D + A$$

Teoricamente, essas perdas podem ser estimadas, mas, vale ressaltar que, elas dependem de diversos fatores como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica. Assim, as fórmulas dadas abaixo consistem em uma forma de aproximar ao máximo do valor real, obtendo uma representação.

**EVAPORAÇÃO (E):** O calor deve ser removido da água que circula no sistema. Para que isto ocorra, parte da água circulante evapora para a atmosfera. Assumindo um calor latente de evaporação de 560 t.h/m<sup>3</sup> (Water Treatment Handbook – Degrémont) tem-se:

$$E = \frac{Q \cdot \Delta T}{560} \quad \text{Eq. 4.1}$$

sendo, Q = Vazão de circulação da água



$\Delta T$  = Diferença na temperatura entre a água de entrada e saída da torre

**ARRASTE OU PERDA LÍQUIDA (A):** É a água “arrastada” com o fluxo de ar na forma de pequenas gotículas. Os fabricantes das torres de resfriamento têm conseguido minimizar esta perda ao longo dos anos. Atualmente, podemos considerá-la como sendo:

$$A = 0,1\% \cdot Q$$

**DRENO (D):** Como uma fração de água é vaporizada, os sais dissolvidos vão se concentrando, sendo necessário realizar a drenagem para manter a concentração de sais dissolvidos dentro de teores aceitáveis de modo a evitar depósitos ou corrosão ao longo do sistema. Para se definir o valor da drenagem, é necessário considerar as características do sistema, a qualidade e quantidade de água de reposição e a tecnologia de tratamento de água para as torres de resfriamento utilizadas.

A REPLAN possui dois sistemas de torres de resfriamento. O primeiro, e mais antigo, é constituído por duas torres de alvenaria interligadas, operando atualmente com uma vazão aproximada de circulação de 23.000 m<sup>3</sup>/h cada, totalizando 46.000 m<sup>3</sup>/h (T-6121 e T-6122). A segunda é constituída por apenas uma torre com a mesma capacidade de uma unidade do primeiro sistema, porém operando com aproximadamente 8.500 m<sup>3</sup>/h (T-6151).

#### **4.4.3 U-631 – Casa de Força (CAFOR)**

Uma quantidade representativa de água tem como destino o sistema de geração de vapor, chegando a ser o segundo maior consumidor depois das torres de resfriamento.

A água desmineralizada proveniente da ETA, em conjunto com o condensado limpo que não entra em contato com os derivados de petróleo (retorno de condensado), são enviados ao sistema de desaeração para diminuir o teor de oxigênio dissolvido, evitando a formação de óxidos que causariam a incrustação do sistema. Posteriormente, a água desaerada é designada para produzir vapor nas caldeiras. Esse vapor é utilizado

principalmente para geração de energia, elétrica ou mecânica pelas turbinas, aquecimento e nas diversas etapas do processo de refino.

As tecnologias dos equipamentos operando na refinaria envolvem diferentes parâmetros de qualidade, nível de pressão e grau do aquecimento gerado, sendo para isso necessário produzir produtos com características diferentes como o vapor de 91 kgf/cm<sup>2</sup> (alta pressão – V91), o vapor de 13 kgf/cm<sup>2</sup> (média pressão - V13) e o vapor de 3 kgf/cm<sup>2</sup> (baixa pressão - V3). Paralelamente, existem as águas desmineralizadas desaeradas como a água de alta pressão, necessária para geração de vapor de alta, e a água de média pressão, para geração de vapor de média.

Na refinaria existem unidades, além da CAFOR, que produzem vapor nas diferentes pressões. Essa produção pode ser a partir de água desmineralizada, como no caso do craqueamento catalítico e da unidade geradora de hidrogênio, como também a partir de um vapor de pressão mais alta, que, após a utilização da energia por um equipamento, vapor de menor pressão é gerado. Exemplificando, uma bomba funciona por meio da energia do vapor de média pressão gerando vapor de baixa pressão ou, dependendo da configuração do equipamento, condensado.

#### **4.4.4 – U-683/A/B – Unidade Retificadora de Águas Ácidas**

As águas ácidas, ou condensados ácidos, aparecem nos processos industriais como decorrência da condensação do vapor de água utilizado como redutor de pressão parcial de hidrocarbonetos em torres de destilação, ou como produto da própria condensação do vapor gerado da água que contamina uma carga de hidrocarbonetos, ou ainda injetado nos fornos. Estes condensados estão contaminados principalmente por H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub> além de fenóis, HCN, cloretos, mercaptanas, hidrocarbonetos e outros, em menor proporção. Mais especificamente, as águas ácidas são consideradas essencialmente soluções aquosas de H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>, com razão molar NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>S normalmente entre 1 e 2, pH na faixa de 7,9 a 9,3 e um teor de H<sub>2</sub>S geralmente até 20 g/L.

O objetivo desta unidade é a redução dos contaminantes (H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>) à concentrações que permitam seu reuso em unidades de processamento e, posterior descarte

à ETDI. O  $\text{NH}_3$  e o  $\text{H}_2\text{S}$  podem ser removidos da solução por simples aquecimento. Normalmente procura-se aliar ao aquecimento a injeção de um meio gasoso que promova o arraste dos contaminantes (vapor de água), aumentando a eficiência de remoção.

Este tratamento pode ser feito em uma única torre ou em duas torres, com a retirada do  $\text{H}_2\text{S}$  na primeira e  $\text{NH}_3$  na segunda. A vantagem da utilização de duas torres é a possibilidade de recuperação posterior do enxofre e a queima da amônia em incineradores especiais para sua transformação em nitrogênio. A desvantagem é o maior custo de implementação e maior complexidade operacional. O tratamento em 2 torres traz nítido ganho ambiental. A REPLAN possui 5 unidades retificadoras de águas ácidas a vapor, sendo 2 de uma torre (T-2007 e T-2057), localizadas nas unidades de destilação e 3 com duas torres de retificação (U-683/A/B).

A principal utilização da água ácida retificada é na diluição de sais para evitar o depósito nos trocadores de calor, lavagem de gases de topo de torres fracionadoras e lavagem do petróleo na dessalgação com destino final a ETDI.

#### **4.4.5 U-740 – Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI)**

O sistema de coleta e veiculação de efluentes gerados na REPLAN até a ETDI é composto por três redes distintas, denominadas águas contaminadas, oleosas e salmoura.

Para o sistema oleoso, são enviadas as correntes aquosas caracterizadas pela presença constante de hidrocarbonetos, podendo conter sólidos suspensos e dissolvidos e/ou outros contaminantes. As correntes destinadas ao sistema oleoso são provenientes de: (PETROBRAS, 2000).

- água de chuva, de controle de emergência, de resfriamento, de lavagem de pisos e drenos, coletadas nas áreas contidas<sup>1</sup> de unidades de processos, de centrais termoeletricas e de bombas; 1-Área circundada por muretas, ressaltos, canaletas, ou rebaixada, a fim de limitar o espalhamento dos líquidos no seu interior e favorecer o seu escoamento através de ralos, de modo a impedir o recebimento de contribuições de fora da área contida.
- áreas de carga e descarga de caminhões e vagões-tanque de petróleo ou seus derivados;

- área de lavagem de equipamentos em oficinas;
- áreas contidas do campo de treinamento de combate a incêndio;
- postos de serviço e garagens onde ocorra lubrificação e lavagem de veículos.

São também enviadas para o sistema oleoso as correntes caracterizadas como efluentes tais como:

- drenagens de fundo dos tanques de petróleo;
- fundo de aterro industrial;
- drenos de fundo dos equipamentos de unidades de processo, de centrais termoeletricas e de áreas de bombas que contenham ou movimentem óleos ou compostos cuja drenagem necessite de tratamento;
- purga intermitente de superfície das bacias de acumulação das torres de resfriamento.

Já para o sistema contaminado, são enviadas as correntes aquosas caracterizadas pela eventual presença de hidrocarbonetos, sendo:

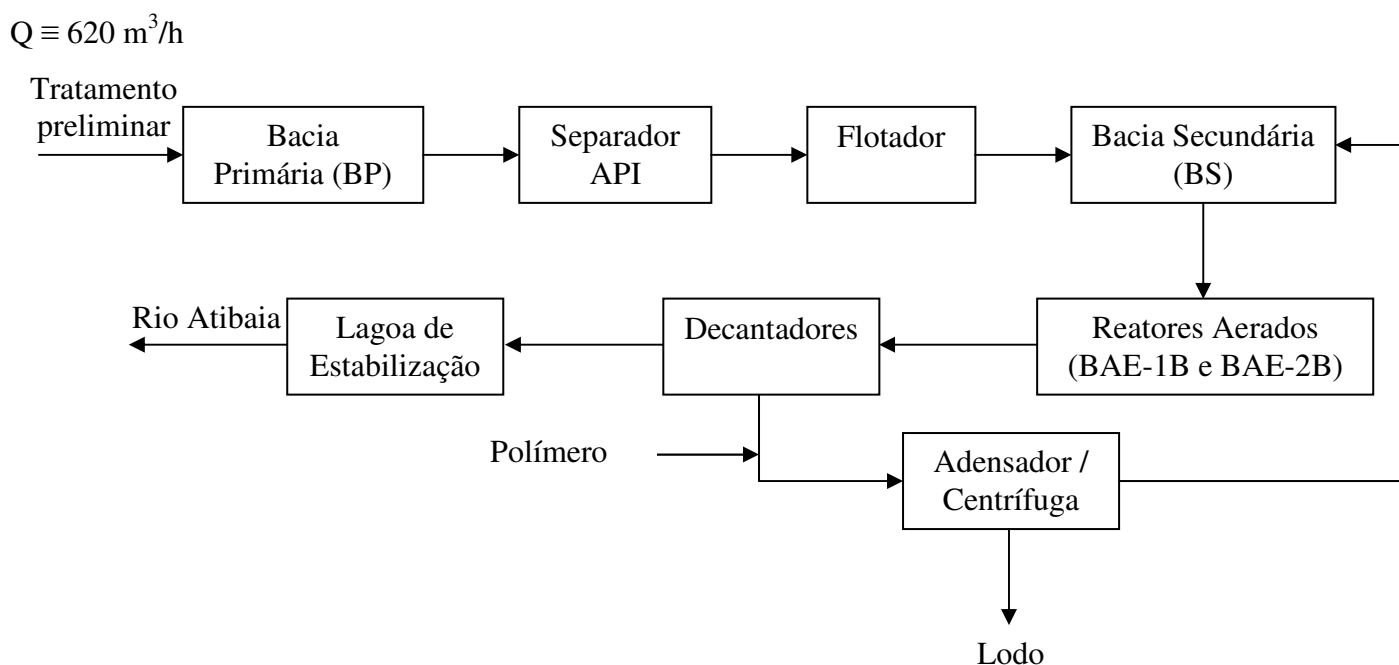
- bacias de tanques;
- purga contínua de torres de resfriamento;
- área de tubovias onde haja possibilidade de vazamentos de hidrocarbonetos, tais como, aquelas próximas a válvulas, flanges, “vents” e áreas não contidas de unidades de processo, utilidades e serviços.

A corrente da dessalgação é enviada para o sistema de salmoura, que, antes de chegar à ETDI, passa por dois tanques pulmão para equalização da vazão e também pré-separação da água e óleo.

Na chegada à ETDI, os efluentes do sistema de águas contaminadas passam por tratamento preliminar composto de gradeamento para remoção de sólidos grosseiros e caixa de areia, para remoção de sólidos sedimentáveis para, a seguir, reunir-se com os efluentes do sistema de águas oleosas e águas da salmoura.

A ETDI é composta por 4 fases distintas, mostradas na Figura 4.4 e descritas, resumidamente, a seguir:

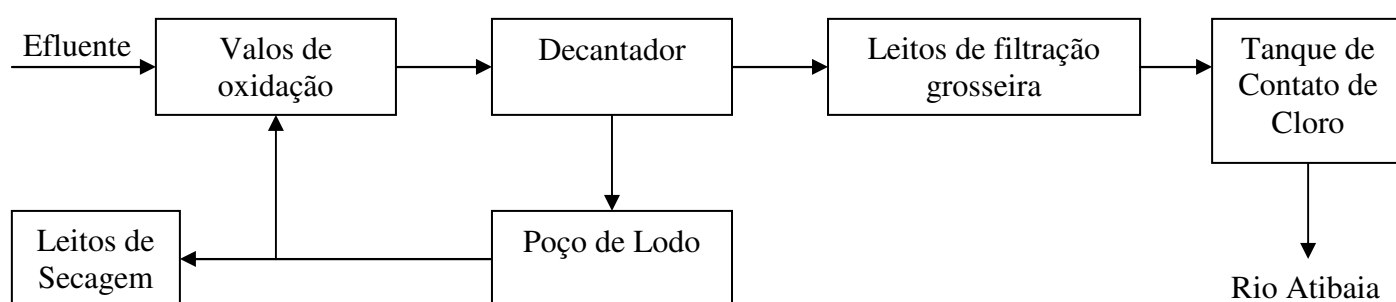
1. Tratamento preliminar que consiste na remoção de sólidos por meio de gradeamento e caixa de areia (para o S.A.C.);
2. Tratamento físico-químico primário, após reunião de todos os efluentes na caixa de visita, composto de Bacia Primária (BP), provida de rolo coletor de óleo (skimmer), Separador do tipo API (American Petroleum Institute), Flotador por ar dissolvido e Bacia Secundária (BS), todos com o objetivo de remoção de óleos;
3. Tratamento secundário, composto de Bacias de Aeração (BAE – 1B e BAE – 2B) com retorno de lodo, proporcionando o tratamento biológico por lodos ativados de aeração prolongada para remoção de carga orgânica carbonácea e nitrogenada, seguido por Decantação (duas unidades) e lagoa de polimento.
4. Sistema de tratamento de lodo biológico em excesso, descartado do retorno de lodo dos decantadores, composto por dosador de polímero, adensador gravimétrico e centrífuga, com retorno dos líquidos drenados à bacia secundária.



**Figura 4.4** - Diagrama simplificado das etapas da ETDI

#### 4.4.6 U-1151 – Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

Destinada ao tratamento de esgoto doméstico, atualmente tem uma vazão de aproximadamente 15 m<sup>3</sup>/h durante o expediente. A ETE é composta de dois valos de oxidação da matéria orgânica e sedimentação do lodo gerado, dois aeradores tipo Kessener, um tanque de contato onde é feita a cloração do efluente tratado e um leito de secagem do lodo decantado.



**Figura 4.5** – Diagrama simplificado das etapas da ETE

### 4.5 Metodologia Adotada para o Levantamento de Dados e Construção dos Balanços Hídricos Individuais e Global da Refinaria

O estudo do balanço hídrico da REPLAN foi realizado em um período de 18 meses, sendo dividido por fases trimestrais. Em cada fase, o objetivo foi finalizar o balanço hídrico interno das unidades de processo envolvidas naquela etapa, detalhando os consumos de água sob as diversas formas em que é exigida numa refinaria da melhor forma possível. A primeira fase compreendeu a captação e estação de tratamento de água (ETA), seguindo pelas diversas unidades de processo e refino, e finalizando nas estações de tratamento de esgoto (ETE) e estação de tratamento de despejos industriais (ETDI). A última etapa foi

reunir todas as informações em um único diagrama global de toda a refinaria. A seguir são discriminadas as fases executadas sequencialmente.

**1ª FASE:** Captação e ETA

**2ª FASE:** Torres de Resfriamento; CAFOR e Destilação

**3ª FASE:** Craqueamento e Coqueamento

**4ª FASE:** Hidrotratamento; Geração de Hidrogênio; Águas Ácidas

**5ª FASE:** ETE e ETDI

**6ª FASE:** Diagrama Global

Em cada fase foram realizadas ações semelhantes que são comentadas a seguir:

1. Estudo da documentação técnica interna da REPLAN, dos fluxogramas de processo e manuais da unidade para que se entenda, ainda que superficialmente, qual a finalidade e como a unidade é operada. Paralelamente, foi sendo construído um diagrama inicial contendo apenas o necessário para o estudo, ou seja, entrada e saída da unidade e dos processos internos das diversas formas da água. Nesta etapa, também foram indicados os instrumentos de medição de vazão e suas devidas localizações na planta industrial.

2. O diagrama inicial foi discutido com os técnicos da área para que os erros fossem corrigidos. Esta etapa era repetida por diversas vezes, até que o diagrama fosse validado pelo responsável da unidade. Esta etapa é considerada de extrema importância devido ao amplo conhecimento do pessoal da “área”, possibilitando a obtenção de informações essenciais para a complementação do diagrama e que não se encontrava em documentação específica. Aqui, foram solucionados problemas como: documentação técnica desatualizada; linhas não utilizadas e que foram consideradas no diagrama inicial; linhas utilizadas e que não foram consideradas no diagrama inicial. Além da correção dos erros cometidos inicialmente, esta etapa também serviu para uma melhor compreensão da unidade.

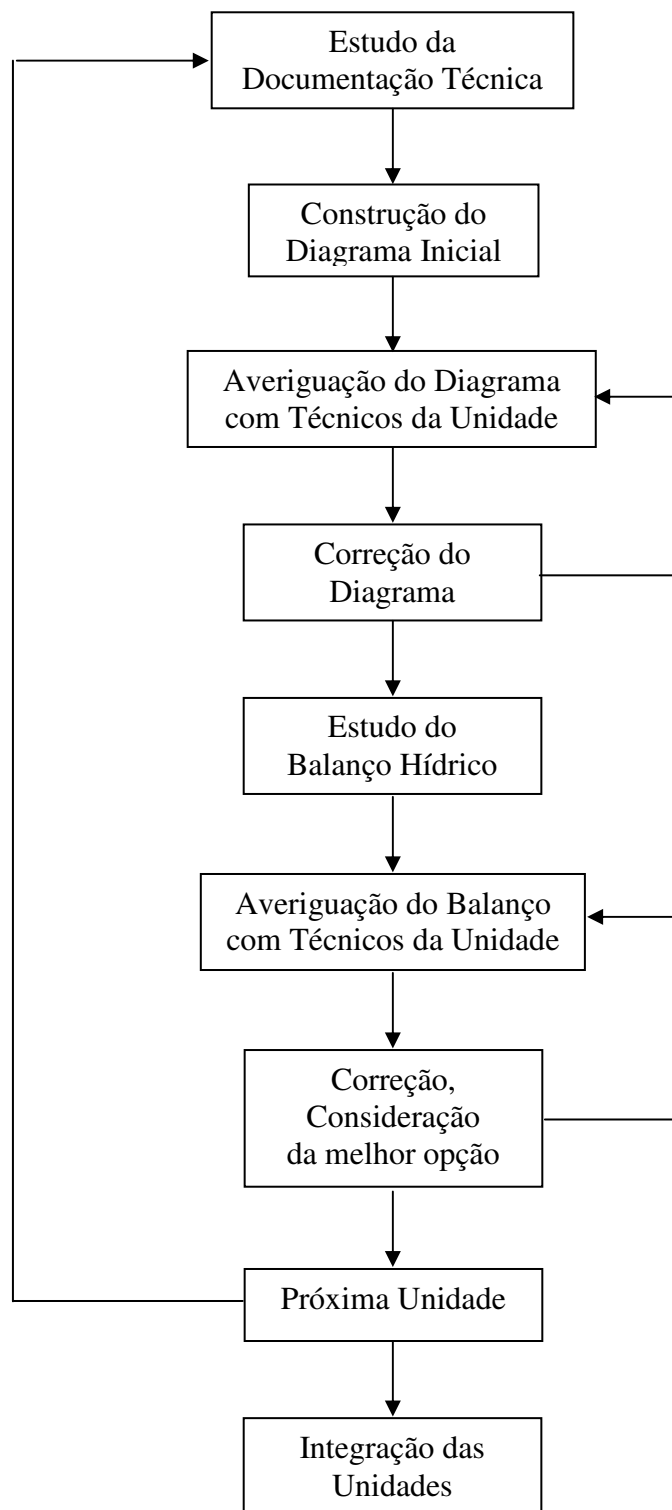
3. A etapa seguinte constitui no estudo dos dados obtidos pelos diversos instrumentos da unidade. Inicialmente foi estudado o comportamento dos últimos doze

meses de cada instrumento para verificar se existia alguma incompatibilidade com os valores registrados em relação ao esperado, tais como: (i) estabilidade do valor medido; (ii) possíveis falhas de calibração; (iii) medições negativas, ou; (iv) instrumentos sem medição. Todas as informações eram discutidas com o pessoal da área para obtenção de um consenso. Caso isso não ocorresse, os dados assumidos passavam a ser baseados em outras unidades semelhantes ou até mesmo em períodos anteriores a doze meses em que o instrumento tivesse fornecido valores mais confiáveis. Em caso de dúvida, sempre com o apoio da operação, os instrumentos eram submetidos a recalibração, troca ou, até mesmo, feita a recomendação de instalação em locais estratégicos onde não existiam. Tais medidas foram tomadas em diversas situações, porém, sua real implementação e solução do problema pode ocorrer em alguns casos durante o período de tempo de realização da pesquisa, e, em outros, servirão para a consolidação do balanço hídrico no futuro. Em situações onde não foi possível a obtenção de dados confiáveis pela leitura de um instrumento local ou pela sua inexistência, optou-se pela obtenção dos dados obtidos pela somatória de outros instrumentos secundários existentes, pela admissão de vazões de projeto ou vazões recomendadas em relação à porcentagem da carga.

Em ocasiões em que a vazão de água medida na entrada ter sido superior a vazão de saída, a diferença foi considerada como perdas não medidas, pois existem pontos em que ocorrem perdas de difícil quantificação como as atmosféricas e vazamentos em tubulações. Também estão inclusos nestas perdas não medidas possíveis erros, sejam através de instrumentos ou estimativas efetuadas sujeitas a falhas.

Na Figura 4.6 é mostrado simplificadaamente os passos que foram efetuados para a construção dos diagramas e balanço hídrico das unidades.





**Figura 4.6** – Fluxograma simplificado dos passos da construção do balanço hídrico

## 4.6 Medição de Vazão

Na REPLAN, o balanço hídrico foi levantado por meio de medições de vazão dos diversos fluxos de água na planta industrial. A vazão é definida como a quantidade de fluído que passa pela seção reta de um duto, por unidade de tempo. O fluído pode ser líquido ou gasoso e também pode ser medido em volume (vazão volúmica –  $\text{m}^3/\text{h}$ ) ou em massa (vazão mássica –  $\text{kg}/\text{h}$ ).

Existem diversas tecnologias de medição de vazão, contudo, as principais utilizadas na REPLAN com o propósito de se obter resultados para água e vapor de água são:

**Placas de orifício:** baseia-se no diferencial de pressão produzido em um fluído quando é colocada na tubulação uma placa metálica perfurada e instalada de forma perpendicular à direção do fluxo. A placa causa uma redução na área da seção, e de acordo com a lei de Bernoulli um aumento da velocidade média do fluído é causada, e como consequência, uma queda de pressão após o elemento. A diferença entre as pressões de entrada e de saída medidas é proporcional ao quadrado da vazão instantânea. É importante que as bordas do orifício estejam sempre perfeitas para evitar comprometimento na medição.

**Ultra-sônico:** Baseia-se na utilização das ondas sonoras como meio de medição. Um sinal acústico é transmitido de um sensor para outro, e de acordo com o princípio de medição utilizado, os medidores podem ser divididos em medidores por Tempo de Passagem ou a Efeito Doppler.

*Por tempo de passagem* - baseia-se na diferença de tempo que um sinal ultra-sônico leva para percorrer a distância entre dois sensores montados um no sentido direto e o outro no sentido oposto ao fluxo. O tempo que cada sinal leva para chegar a seu respectivo receptor é então medido e a diferença entre estes tempos é diretamente proporcional à velocidade de deslocamento do fluído.

*Efeito Doppler* - Baseia-se no efeito Doppler, que consiste em uma variação da frequência produzida quando existe um movimento relativo entre uma fonte emissora e uma receptora. Quando um feixe contínuo é projetado sobre o fluído, as partículas existentes refletem a

onda, causando uma alteração em sua frequência de forma proporcional a velocidade relativa entre as partículas refletoras e o receptor.

**Vortex:** Baseia-se no princípio de Von Karman sobre a formação de vórtices (turbilhões) em um fluido. Quando um objeto é colocado em um local por onde se escoar um fluido, esse objeto causa a formação de vórtices, que se desprendem de modo alternado em cada lado do objeto, sendo a quantidade de vórtices formada proporcional a vazão do fluido. Os vórtices são detectados por um sensor piezoelétrico que os converte para pulsos elétricos.

A maior dificuldade no levantamento de dados, para uma abordagem mais abrangente e detalhada do balanço de água nos processos é que boa parte das operações unitárias não conta com malhas de medição ou controle instalados. É necessário conhecimento e experiência nos seguintes aspectos: tomada de medições instantâneas e de estimativas para a determinação de vazões de fluxos desconhecidos; verificação da credibilidade da instrumentação existente e seleção de instrumentos de medição apropriados para alocação permanente.

Na falta de instrumentação instalada, pode-se utilizar instrumentos portáteis para a determinação direta das vazões. Os instrumentos portáteis têm como inconveniências requererem acesso fácil às tubulações e fornecerem dados por limitado período. Quando se têm fluxos em tubulações que desembocam em canaletas, pode-se utilizar o método rudimentar, porém eficiente, da contagem do tempo para o enchimento de um recipiente com volume conhecido. Na impossibilidade de obtenção de dados, considerou-se dados de documentações de projeto quanto as especificações dos produtos, dos processos e do regime de operação.



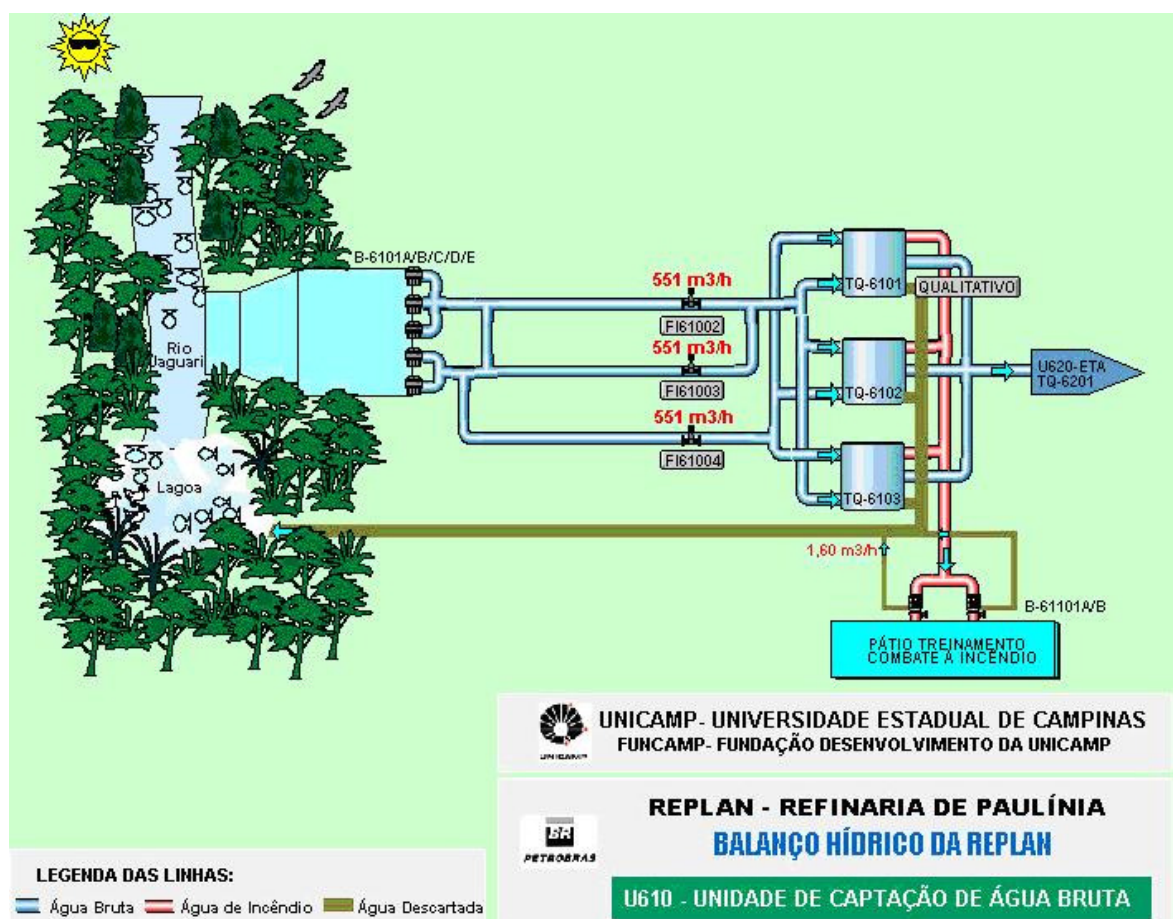
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Balanço Hídrico da Refinaria de Paulínia

O levantamento dos dados, como mencionado anteriormente, foi obtido em fases, contemplando todas as unidades de processo da REPLAN. Serão comentadas a seguir as ações específicas realizadas por unidade.

#### 5.1.1 U-610: Captação de Água Bruta

O primeiro obstáculo enfrentado no trabalho foi estimar a vazão de água bruta captada na refinaria. Na Figura 5.1, é apresentado de forma esquemática o fluxograma de processo da captação de água bruta feita no Rio Jaguari.



**Figura 5.1** – Fluxograma esquemático da captação de água bruta no Rio Jaguari, com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

A REPLAN contava com dois instrumentos medidores de vazão instalados em duas de três adutoras de água bruta, porém, esses instrumentos ainda não estavam ligados ao sistema de automação, e por isso não pudemos contar com o histórico das medições.

A própria REPLAN tinha o seu controle de água captada considerando o histórico do regime de operação das bombas de captação, que havia sido calibrado em tempos em que a refinaria contava com apenas duas adutoras e, com toda certeza, as condições atuais eram diferentes, tanto pela adição desta nova adutora, quanto pelo tempo de utilização das adutoras antigas.

Após esses fatos apresentados, viu-se a necessidade de atualizar esses dados para que se obtivesse uma estimativa mais condizente com a atual realidade. Para isso, foram realizadas medições de vazão de captação de água bruta da REPLAN por meio de testes volumétricos em um tanque de água bruta. Este teste resumiu-se a direcionar todas as adutoras da captação para um dos três tanques pulmão existentes, responsáveis pelo abastecimento de água bruta da ETA por gravidade. Tais testes exigiram a programação prévia junto à equipe operacional da REPLAN, de forma que a continuidade do abastecimento pudesse ocorrer pela água bruta existente em dois dos tanques previamente cheios e desconectados das adutoras e a medição pudesse ser executada no terceiro, mantido vazio. Considerando que o diâmetro interno do tanque utilizado para esta medição era de **50 m**, correspondendo a um fator de **1960 m<sup>3</sup>/m**, uma das cinco bombas de captação era ligada, e, após certo tempo, verificada a variação de nível de água presente no tanque, obtendo-se a vazão para a respectiva bomba. A seguir, eram ligadas duas bombas em paralelo e, assim, sucessivamente, até que a vazão para as cinco bombas operando em paralelo fosse obtida. Também foram feitos testes para verificar se as bombas, operando isoladamente, possuíam alguma diferença de vazão entre elas. Na Tabela 5.1 resume-se os resultados médios obtidos em 3 dias de testes, sendo 1 dia para as bombas operando isoladamente e os outros 2 dias duplicatas para 2, 3, 4, e 5 bombas operando. Pode-se observar que algumas bombas apresentaram valores distintos quando em operação isoladamente.

Na Figura 5.2 é apresentada a curva dos dados de vazão média obtidos pelas três medições realizadas em função do número de bombas em operação e a curva de ajuste dos

mesmos, da qual, foram obtidos os valores corrigidos para as vazões a serem adotadas como representativas da captação de água bruta pela REPLAN.

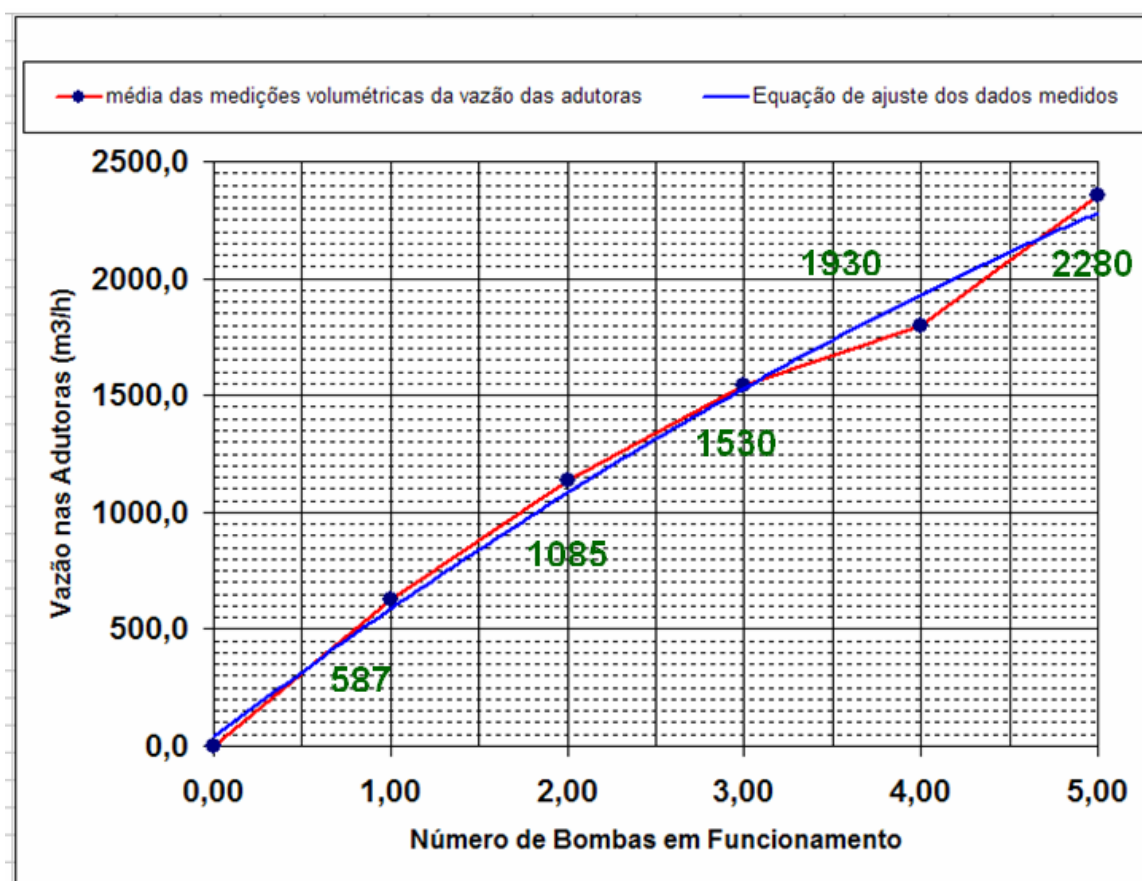
**Tabela 5.1** – Valores obtidos em testes volumétricos para calibração das bombas de captação de água bruta

QTD. Bombas	MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA I			MEDIÇÃO VOLUMÉTRICA II			VALOR MÉDIO	VALOR CORRIGIDO
	$\Delta H$ (m)	$\Delta t$ (min)	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta H$ (m)	$\Delta t$ (min)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)
2	0,42	45	1098	0,60	60	1176	1137	1085
3	0,40	30	1568	0,58	45	1516	1542	1530
4	0,45	30	1764	0,70	45	1829	1797	1930
5	0,60	30	2352	0,50	25	2352	2352	2280
1	-	-	-	0,39	75	611,5	624	587
1	-	-	-	0,42	75	658,6	624	587
1	-	-	-	0,40	75	627,2	624	587
1	-	-	-	0,39	75	611,5	624	587
1	-	-	-	0,39	75	611,5	624	587

É importante comentar que caso o nível do rio Jaguari se altere, os valores de vazão também se alterariam, pois a diferença de cota (nível da tomada d'água em relação ao ponto de entrada da água no tanque) não seria mais a mesma, e esta influenciaria proporcionalmente a vazão de água captada. Como citado anteriormente, as medições foram realizadas em duas épocas distintas, sendo a primeira no dia 26/08/05, em que o nível do canal de captação em relação à referência considerada pela REPLAN estava torno de 0,27 m e na segunda, dias 20 e 21/12/05, o nível estava em 0,96 m. A média deste nível no período em que está sendo considerado para o balanço hídrico foi de **0,67 m**.

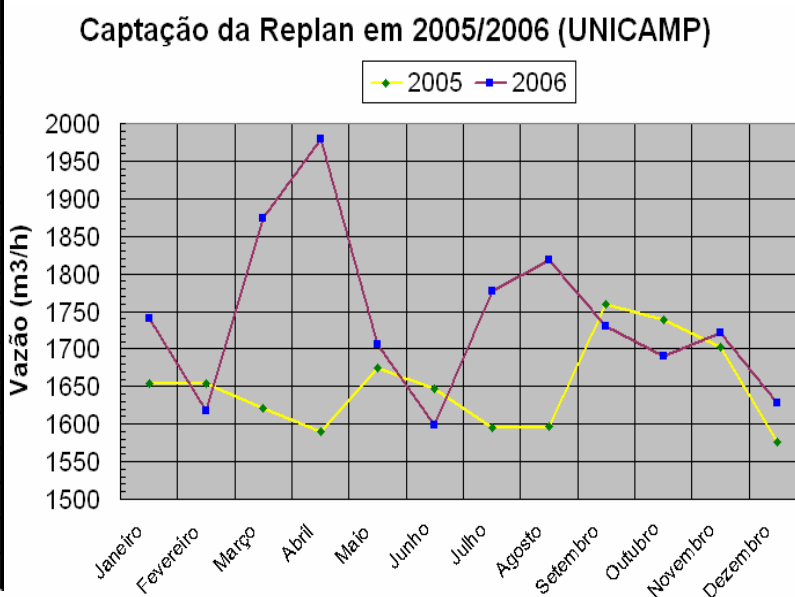
Na Figura 5.3 é mostrado o consumo estimado mensalmente para o ano de 2005 e 2006, baseado no regime de operação das bombas. Vale ressaltar que nos meses de março e abril de 2006 os resultados foram influenciados por problemas no canal de tomada d'água da captação devido a uma quantidade muito grande de sólidos suspensos. Isto reduziu a vazão de água obtida nas bombas, sendo necessário um regime maior de operação.

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho, com os valores adotados até então pela REPLAN, verifica-se uma diferença em torno de **270 m<sup>3</sup>/h** a menos em relação à anterior. Atualmente, a refinaria passou a adotar os valores estimados neste trabalho.



**Figura 5.2** – Valores de vazão obtidos e corrigidos das bombas de captação de água bruta.

	MÉDIA 2005 (m³/h)	MÉDIA 2006 (m³/h)
Janeiro	1654	1740
Fevereiro	1655	1617
Março	1621	1874
Abril	1590	1978
Maio	1675	1705
Junho	1647	1599
Julho	1594	1777
Agosto	1597	1818
Setembro	1759	1730
Outubro	1738	1690
Novembro	1703	1721
Dezembro	1577	1628
<b>MÉDIA ANUAL</b>	<b>1651</b>	<b>1740</b>

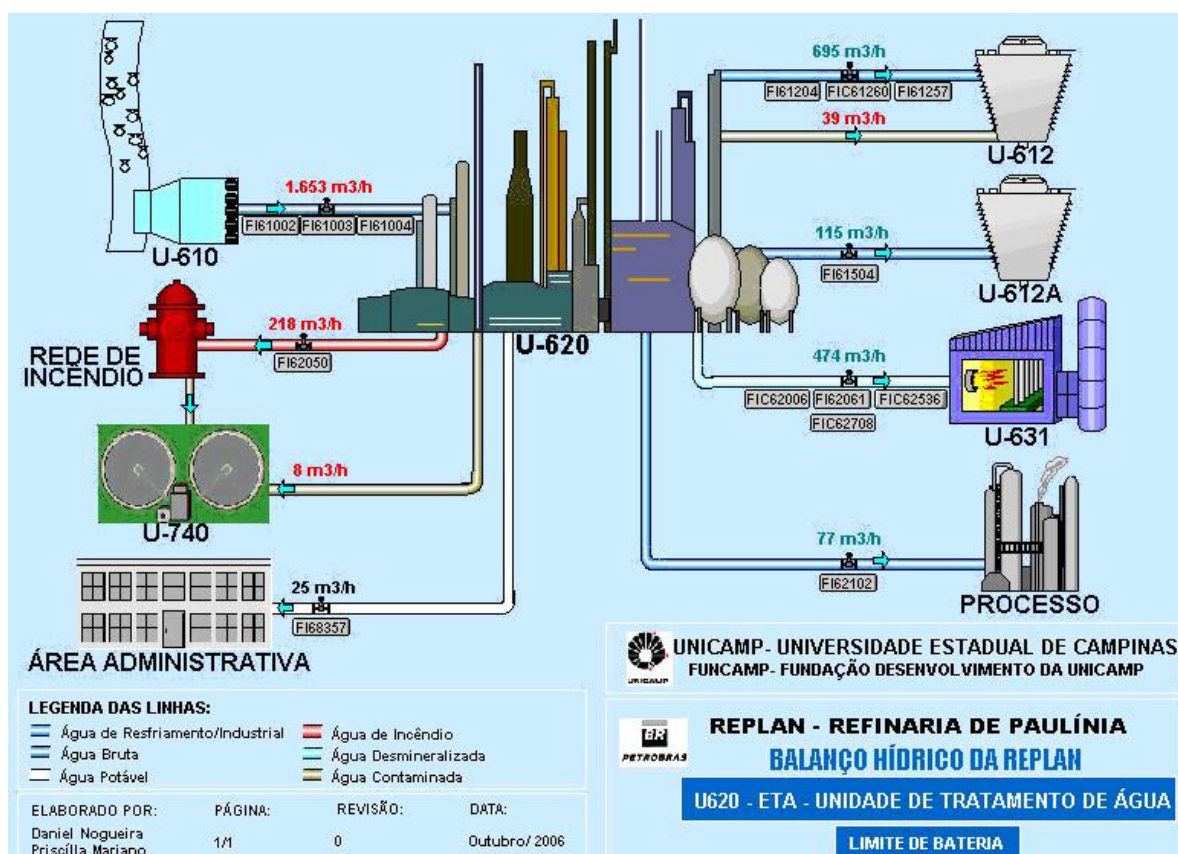


**Figura 5.3** – Vazões estimadas de captação de água bruta da REPLAN utilizando-se os resultados levantados no presente estudo.



### 5.1.2 U-620: Estação de Tratamento de Água

Tendo em vista que o sistema implantado de medição de água bruta afluyente à ETA não era confiável em função de que uma das Calhas Parshall não ser padronizada, tal vazão foi estimada pela soma das médias dos instrumentos de saída de água nas diferentes qualidades (**1.435 m<sup>3</sup>/h**). A rede de incêndio, que é representativa no que se refere ao consumo de água bruta em refinarias, não contava com instrumento de medição. Desta forma, esse valor foi estimado como sendo a diferença entre a água bruta captada e a produção de água tratada na ETA, obtendo-se uma média de **218 m<sup>3</sup>/h**, representando 13,2 % do total de água bruta captada. Esta porcentagem se enquadra na afirmação feita por AMORIM (2005) de que o sistema de incêndio corresponde a um consumo aproximado de 11 % da demanda total de água em refinarias. Na Figura 5.4 é apresentado o fluxograma de processo no limite de bateria da ETA, já inclusos os processos de Troca Iônica e Osmose Reversa.



**Figura 5.4** – Fluxograma de processo no limite de bateria da ETA, já inclusos os processos de Troca Iônica e Osmose Reversa, com valores médios do período histórico considerado.

Com relação aos rejeitos de efluentes que são enviados à ETDI ou reusados em outras unidades de processo da refinaria, podemos citar como sendo identificadas e de maior importância:

- todo o sistema de incêndio
- regenerações da troca iônica
- lavagens da ultrafiltração
- 1º passo da osmose

**SISTEMA DE INCÊNDIO** - Devido à difícil quantificação das perdas dos diversos usos do sistema de incêndio, foi considerada toda a vazão como sendo enviada para a ETDI.

**REGENERAÇÕES DA TROCA IÔNICA** - As regenerações das resinas são realizadas quando a água desmineralizada produzida atinge o limite mínimo de qualidade requerida para as unidades posteriores. Para essas regenerações, existiam dados estimados, que foram levantados pelos profissionais da unidade, referentes à quantidade de água utilizada nos diversos “tipos” de lavagens das diversas cadeias. Para cada vaso da cadeia desmineralizadora existe uma metodologia de regeneração diferente. A seguir, da Tabela 5.2 até a Tabela 5.8, verifica-se uma síntese dos consumos de água nesses processos com os devidos destinos dos efluentes. Deve-se deixar claro que dependendo do tipo de lavagem a água é reutilizada principalmente nas torres de resfriamento ou até mesmo retornada para o início da ETA, nas Calhas Parshall.

Não estão contidas informações da cadeia E, em função desta encontrar-se em manutenção na época do estudo, e, por ser mais moderna, produz mais água desmineralizada com perdas menores em relação às outras.

**Tabela 5.2** – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração das resinas catiônicas cadeias A/B/C

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	65m <sup>3</sup> /h	15 minutos	16,3m <sup>3</sup>	T-6121
1.o fase ácido	28m <sup>3</sup> /h	20 minutos	9,3m <sup>3</sup>	ETDI
2.o fase ácido	18m <sup>3</sup> /h	20 minutos	6,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	28m <sup>3</sup> /h	30 minutos	14,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Rápida	90m <sup>3</sup> /h	60 minutos	90,0m <sup>3</sup>	ETDI
TOTAL DESCARTE				135,6m <sup>3</sup>

**Tabela 5.3** – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina catiônica cadeia D

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	65m <sup>3</sup> /h	20 minutos	21,7m <sup>3</sup>	T-6121
1.o fase ácido	54m <sup>3</sup> /h	20 minutos	18,0m <sup>3</sup>	ETDI
2.o fase ácido	36m <sup>3</sup> /h	20 minutos	12,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	35m <sup>3</sup> /h	30 minutos	17,5m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Rápida	120m <sup>3</sup> /h	46 minutos	90,0m <sup>3</sup>	ETDI
TOTAL DESCARTE				161,2m <sup>3</sup>

**Tabela 5.4** – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração das resinas aniônicas cadeias A/B/C

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	20m <sup>3</sup> /h	15 minutos	5,0m <sup>3</sup>	T-6121
Injeção Soda	14m <sup>3</sup> /h	45 minutos	11,7m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	14m <sup>3</sup> /h	45 minutos	10,5m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Rápida	90m <sup>3</sup> /h	30 minutos	45,0m <sup>3</sup>	T-6121
TOTAL DESCARTE				72,2m <sup>3</sup>

**Tabela 5.5** – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina aniônica cadeia D

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	20m <sup>3</sup> /h	15 minutos	5,0m <sup>3</sup>	T-6121
Injeção Soda	30m <sup>3</sup> /h	36 minutos	18,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	30m <sup>3</sup> /h	50 minutos	25,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Rápida	150m <sup>3</sup> /h	25 minutos	62,5m <sup>3</sup>	T-6121
TOTAL DESCARTE				110,5m <sup>3</sup>

**Tabela 5.6** – Estimativa do volume água utilizada na regeneração resinas de leito misto cadeias A/B/C.

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	95m <sup>3</sup> /h	30 minutos	47,5m <sup>3</sup>	T-6121
Injeção Soda	8m <sup>3</sup> /h	60 minutos	8,0m <sup>3</sup>	ETDI
Injeção Ácido	8,3m <sup>3</sup> /h	60 minutos	8,0m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	8m <sup>3</sup> /h	40 minutos	5,3m <sup>3</sup>	ETDI
Mistura	15m <sup>3</sup> /h	30 minutos	7,5m <sup>3</sup>	T-6121
Enchimento	95m <sup>3</sup> /h	3 minutos	4,75m <sup>3</sup>	T-6121
Lavagem Rápida	95m <sup>3</sup> /h	30 minutos	47,5m <sup>3</sup>	T-6121
TOTAL DESCARTE				128,6m <sup>3</sup>

**Tabela 5.7** – Estimativa do volume de água utilizada na regeneração da resina de leito misto cadeia D

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	60m <sup>3</sup> /h	30 minutos	30,0m <sup>3</sup>	T-6121
Injeção Soda	26m <sup>3</sup> /h	50 minutos	21,7m <sup>3</sup>	ETDI
Injeção Ácido	26m <sup>3</sup> /h	40 minutos	17,3m <sup>3</sup>	ETDI
Lavagem Lenta	26m <sup>3</sup> /h	45 minutos	19,5m <sup>3</sup>	ETDI
Mistura	20m <sup>3</sup> /h	30 minutos	10,0m <sup>3</sup>	T-6121
Enchimento	26m <sup>3</sup> /h	30 minutos	13,0m <sup>3</sup>	T-6121
Lavagem Rápida	165m <sup>3</sup> /h	10 minutos	27,5m <sup>3</sup>	T-6121
TOTAL DESCARTE				139,0 m <sup>3</sup>

**Tabela 5.8** – Estimativa do volume de água utilizada na lavagem dos vasos descloradores cadeias A/B/C/D/E

LAVAGEM	VAZÃO	PERÍODO	DESCARTE	DESTINO
Expansão	50m <sup>3</sup> /h	60 minutos	50,0m <sup>3</sup>	ETA
<b>TOTAL DESCARTE</b>				<b>50,0 m<sup>3</sup></b>

De posse desses dados, e do levantamento de quantas lavagens foram realizadas em Julho/2005, foi estimado, ainda que grosseiramente, o volume utilizado e o destino dessas lavagens. Na Tabela 5.9, verifica-se a quantidade de operações realizadas para cada vaso, além das estimativas do volume de água gasto. Posteriormente, a vazão dimensionada e seu destino são demonstrados na Tabela 5.10.

**Tabela 5.9** – Estimativa do volume total gasto na regeneração das resinas em Julho/2005.

Vaso	Regenerações	Volume gasto (m <sup>3</sup> )
catiônicos ABC	22	2.983,20
catiônico D	04	644,80
aniônicos ABC	33	2.382,60
aniônico D	19	2.099,50
leito misto ABC	15	1.929,00
leito misto D	05	695,00
descloradores ABCDE	19	950,00
<b>Total</b>		<b>11.684,10</b>

**Tabela 5.10** – Estimativa do volume das soluções regenerantes enviado por unidade.

Unidade destino	Volume (m <sup>3</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
T-6121/2	7.116,5	9,57
ETDI	3.617,6	4,86
ETA	950,0	1,28

**LAVAGENS DA ULTRAFILTRAÇÃO** – Existem diferentes tipos de lavagens para as unidades de UF (Skid). Cada lavagem tem seu devido tempo útil (campanha) até que seja necessário repetir a operação. Além disso, os rejeitos dessas lavagens também possuem destinos diferentes.

A seguir, foi abordado, para conhecimento, os tipos de lavagens realizadas para estas unidades:

### **Contralavagem**

Efetuada com água ultrafiltrada. A estimativa do volume descartado foi baseada na variação do nível do tanque de água de lavagem após o procedimento ser realizado. Com isso, aferiu-se também o volume do Skid ( $2,5 \text{ m}^3$ ), já que o processo de contralavagem baseia-se no enchimento completo de cada Skid com o posterior descarte para o tanque.

### **CIP (Clean In Place) Ácido**

Existem 3 etapas para esta lavagem

- 1ª etapa: Água UF com ácido cítrico diluído - Todo o Skid é preenchido ( $V = 2,5 \text{ m}^3$ )
- 2ª etapa: Água clarificada – Todo o Skid é preenchido por 2 vezes ( $V = 5,0 \text{ m}^3$ )
- 3ª etapa: Água clarificada – Vazão de  $128 \text{ m}^3/\text{h}$  por 10 minutos ( $V = 21,3 \text{ m}^3$ )

### **CIP Hipoclorito**

Efetuada após CIP Ácido com o mesmo procedimento, diferenciando pela diluição de hipoclorito na 1ª etapa ao invés de ácido cítrico.

### **CBW (Chemical Back Wash)**

Trata-se de uma retrolavagem com hipoclorito. Mesmo procedimento do CIP hipoclorito.

### **Teste PDT (Pressure Decay Test)**

Realizado após CBW. Trata-se de um teste para detecção de possíveis vazamentos. Não existem quaisquer perdas, já que se não houver vazamentos esse volume é ultrafiltrado e armazenado no tanque de armazenamento de água ultrafiltrada.

Na Tabela 5.11 é resumida a frequência das lavagens do sistema de UF para cada Skid, enquanto que na Tabela 5.12 é mostrado o volume enviado por destino do rejeito.

**Tabela 5.11** - Estimativa do volume de água utilizada nas lavagens dos módulos da UF, em Julho/05

LAVAGEM	CAMPANHA	TEMPO LAVAGEM	VOLUME DESCARTADO	DESTINO
Contralavagem	18 min	3 min	2,5m <sup>3</sup>	TQ-6224 (ETA)
CIP Ácido	30 dias	1h	28,8m <sup>3</sup>	ETDI
CIP Hipoclorito	30 dias	1h	28,8m <sup>3</sup>	ETDI
CBW	24 horas	1h	28,8m <sup>3</sup>	ETDI
Teste PDT	24 horas	30 min	-	Osmose

**Tabela 5.12** - Estimativa do volume da água de lavagem da UF enviado por unidade

DESTINO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)
ETA	10.628,60	14,29
ETDI	1.900,80	2,55

É importante salientar que os dados de cada lavagem, assim como na regeneração de troca iônica, possuem variações que dependem da qualidade da água de alimentação do sistema, do operador e da idade das membranas. As estimativas foram baseadas nos valores indicados pelo sistema de automação da refinaria, porém não são descartadas possíveis alterações na sua operação de rotina.

1º PASSO DA OSMOSE – Como citado anteriormente, a osmose possui dois passos em série, sendo que o concentrado do primeiro passo possui uma pior qualidade em relação ao segundo. Por isso, para se evitar desperdício, envia-se este concentrado do segundo passo para a entrada do primeiro, enquanto que o concentrado do primeiro passo é reutilizado nas torres de resfriamento. Esta quantificação foi dada pela indicação de instrumento instalado na planta, com uma média de **29 m<sup>3</sup>/h**.

Quanto à geração de efluentes, um dos grandes contribuintes é proveniente da ETA e trata-se da rede de incêndio utilizada para as diversas operações e usos comentados anteriormente. O valor quantificado na saída de água destinada a este uso é considerado

como parte do efluente final, sem qualquer tipo de perda. Na prática esta consideração é errônea, pois existe uma perda para a atmosfera e também por infiltração no solo quando esta é utilizada para treinamento de incêndio.

Também são gerados efluentes descartados à ETDI por meio das operações de lavagens da ultrafiltração e regeneração da troca iônica, abordados anteriormente, ambas quantificadas com base nos gastos em cada operação e do número de vezes em que são executadas mensalmente. Na Tabela 5.13 é detalhada as origens dos efluentes da ETA e quantifica a vazão referente às vias de drenagem.

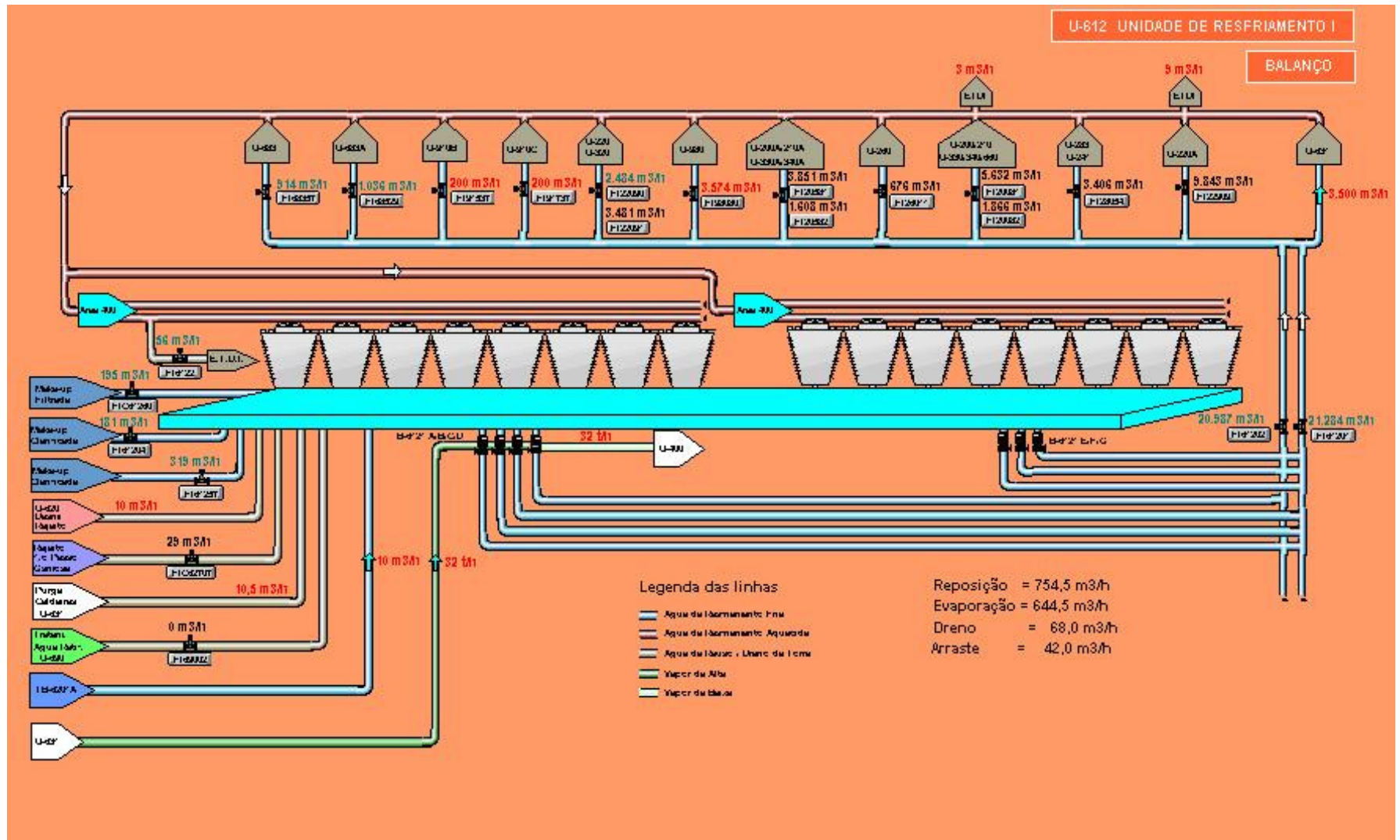
**Tabela 5.13 – Contribuições da ETA para a geração de efluentes.**

<b>U-620 ETA – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Incêndio	Água Bruta	218,0	96,5	34,8	C.A.C. e S.A.O.
Regeneração Troca Iônica	Água Desmineralizada	5,0	2,2	0,8	C.A.C.
Lavagem Ultrafiltração	Água Ultrafiltrada	3,0	1,3	0,5	C.A.C.
<b>TOTAL</b>		<b>226</b>	<b>100</b>	<b>36,1</b>	

### 5.1.3 U-612/A: Unidades de Resfriamento de Água

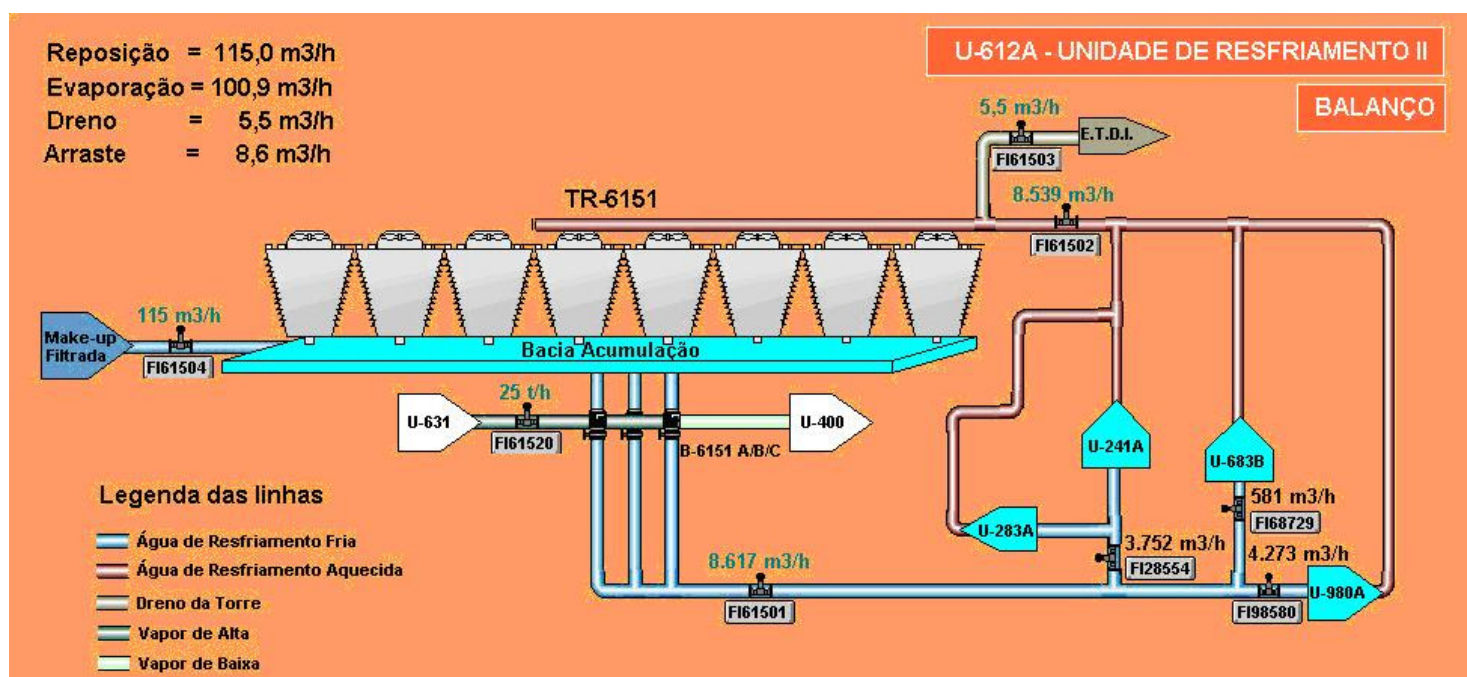
Na REPLAN, aproximadamente 810 m<sup>3</sup>/h (49 % da água captada) terá como primeiro destino, ou seja, sem considerar os reusos, os sistemas de resfriamento. A maior parte dessa água é clarificada e a restante filtrada, conforme pode ser visualizado nas Figuras 5.5 e 5.6.





**Figura 5.5** – Fluxograma de processo da unidade de resfriamento I (U-612), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

O consumo de água de resfriamento da REPLAN foi estimado baseando-se nos medidores de água de reposição existentes e estimativas dos reusos, que são abordados especificamente nos tópicos das unidades geradoras. Para cada sistema, tentou-se quantificar as perdas referentes às diversas formas. Os valores para os drenos foram obtidos por instrumentos e também por estimativas das perdas quantificadas ao longo do sistema. As perdas por arraste, basearam-se nos manuais da unidade, e foram consideradas como sendo 0,1 % da vazão de circulação, conforme já descrito anteriormente.



**Figura 5.6** – Fluxograma de processo da unidade de resfriamento II (U-612A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

A metodologia adotada considera a perda por evaporação como sendo a diferença para se alcançar a reposição total, sendo denominadas como perdas medidas, registradas na Tabela 5.14, que mostra, também, as condições de operação dos sistemas e as estimativas para cada tipo de perda. Na mesma tabela, para efeitos de comparação, na coluna evaporação (teórica) foram estimadas as perdas por evaporação, calculadas utilizando a Eq 4.1.

O sistema da U-612 também conta com água de reuso de diversas fontes (totalizando **59,5 m<sup>3</sup>/h**), como algumas regenerações da troca iônica, 1º passo da osmose reversa, purgas das caldeiras e retrolavagens da ultrafiltração.

**Tabela 5.14** – Dados operacionais dos dois sistemas de resfriamento e estimativa das perdas.

SISTEMA	MÉDIA DA VAZÃO DE CIRCULAÇÃO Q (m <sup>3</sup> /h)	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA (ΔT)°C	PERDAS (m <sup>3</sup> /h)				
			MEDIDAS				Evaporação (Teórica)
			EVAPORAÇÃO	ARRASTE	DRENO	TOTAL	TOTAL
<b>U-612</b>	42.271	10,0	644,5	42	68	754,5	755
<b>U-612A</b>	8.617	9,4	100,5	9	5,5	115	145

Quanto à água de resfriamento na entrada das unidades, existem instrumentos que não são confiáveis, como por exemplo, na entrada das unidades de COQUE I e CAFOR, que não possuem instrumentos de medição. Para sanar estes problemas, o balanço foi acertado com a ajuda de profissional da área, ficando definido que os melhores valores a serem adotados são: CAFOR (U-631), sem instrumentação, em torno de **3.500 m<sup>3</sup>/h**; a diferença para coincidir com o valor de recirculação ficou adotado para o COQUE (U-980) como **3.574 m<sup>3</sup>/h**.

Observa-se também a ausência de medidores no retorno da água de resfriamento para o sistema. Porém, com exceção das perdas visualizadas e estimadas, foi considerada a inexistência de perdas nos processos, já que normalmente se tratam de perdas relativamente insignificantes e de difícil identificação.

A contribuição para a ETDI por parte das torres de resfriamento estão apresentadas na Tabela 5.15.

**Tabela 5.15** – Contribuições das unidades de resfriamento para a geração de efluentes

<b>U-612 UNIDADE DE RESFRIAMENTO I</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Dreno da Torre	Resfriamento	56,0	82,4	8,9	C.A.C.
Dreno da Torre no V-22534	Resfriamento	9,0	13,2	1,4	C.A.C.
Dreno da Torre Sistema aberto da B-2105A/B	Resfriamento	3,0	4,4	0,5	S.A.O.
<b>TOTAL</b>		<b>68,0</b>	<b>100</b>	<b>10,8</b>	
<b>U-612A UNIDADE DE RESFRIAMENTO II</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Dreno da Torre	Resfriamento	5,5	91,7	0,9	C.A.C.
Purga dos Filtros Laterais	Resfriamento	0,5	8,3	0,1	C.A.C.
<b>TOTAL</b>		<b>6,0</b>	<b>100</b>	<b>1,0</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>74,0</b>	<b>-</b>	<b>11,8</b>	<b>-</b>

Para o sistema de resfriamento da U-612, foram visualizadas perdas que também foram estimadas. O valor obtido, juntamente com o do dreno, medido por instrumento, foram considerados como desconcentração do sistema, já que, se não houvessem essas perdas, a vazão do dreno deveria sofrer um acréscimo para que os contaminantes existentes permanecessem com uma concentração que não prejudicasse a operação dos equipamentos.

Com o início da operação da unidade de CRAQUEAMENTO II, constatou-se a necessidade de efetuar resfriamento externo do V-22534 (vaso de mudança de direção) pertencente ao sistema que fornece combustível (CO) para a queima e geração de energia na caldeira, fator que se deve a um erro de projeto. Para esse sistema, a estimativa foi realizada por uma medição volumétrica pontual utilizando um balde de 10 litros e cronômetro para se obter a quantidade de água do sistema de resfriamento que estava sendo perdida para a ETDI.

Para isso, foram adaptadas mangueiras que distribuem água do sistema de resfriamento na superfície externa do vaso, sendo coletada na parte inferior e direcionada para a ETDI. Na Tabela 5.16 são indicados os dados obtidos no estudo de perdas líquidas do V-22534 tendo como destino a E.T.D.I.

**Tabela 5.16** – Dados coletados nos testes efetuados no V-22534

<b>Volume Balde (L)</b>	<b>10</b>
<b>Tempo de Enchimento(s)</b>	$\approx 4,0$
<b>Vazão Estimada (L/h)</b>	9000

O sistema de resfriamento da B-2105A/B também manifesta problema de dimensionamento. Para que a bomba seja mantida em temperatura de funcionamento adequada, a vazão de água de resfriamento deveria ser maior, proporcionando desperdício pela impossibilidade de retorno até as torres de resfriamento, sendo necessário descartá-la para a ETDI. A metodologia adotada foi a mesma para as medições no V-22534.

Estas estimativas foram importantes, pois a consideração da vazão do dreno da torre de resfriamento era, até então, obtida como sendo apenas a indicada pelo instrumento localizado no dreno controlado.

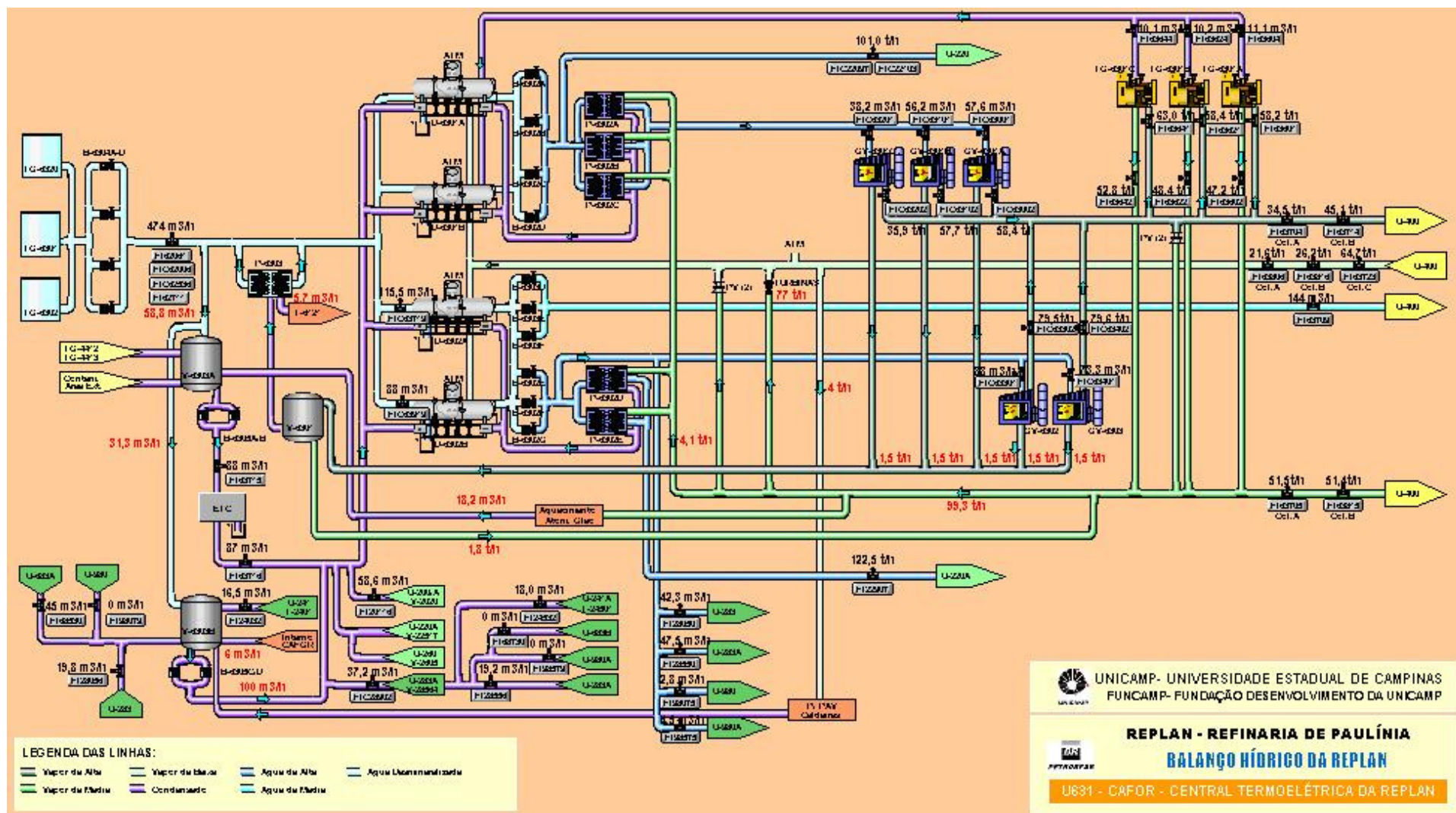
#### **5.1.4 U-631: CASA DE FORÇA (CAFOR)**

Para realizar-se o balanço dos sistemas de vapor, algumas considerações tiveram que ser assumidas devido às grandes dificuldades apresentadas, tais como: perdas atmosféricas não estimáveis; diversos equipamentos produtores e consumidores sem medição; algumas medições incompatíveis com a esperada e falhas de calibração e funcionamento de instrumentos, impossibilitando o fechamento do balanço para este sistema. Na Figura 5.7 é apresentado o fluxograma de processo dessa unidade, onde pode ser visualizada a complexidade das instalações e de instrumentações para medições de vazões disponíveis.

Com relação às falhas nos instrumentos, alguns, mesmo depois de serem calibrados, não apresentaram medições confiáveis. A explicação dada pelos responsáveis pela

instrumentação da refinaria se remete ao fato de os instrumentos estarem configurados em condições de processos, como temperatura do fluido, pressão e vazão esperada, que já não condizem mais com a atual realidade, ou seja, as condições mudaram com o passar dos anos, mas os instrumentos não foram reconfigurados.





**Figura 5.7** – Fluxograma do processo interno da CAFOR, com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

Contudo, algumas unidades puderam ser estimadas quanto ao consumo ou produção já que contavam com mais de uma fonte de dados.

Para o balanço, construíram-se tabelas especificando todos os produtores e consumidores dos diversos tipos de vapor e convencionou-se que o vapor excedente (diferença entre produtores e consumidores) tenha sido utilizado, sem qualquer tipo de perdas. Desta forma, essa quantidade excedente acabou sendo considerada como responsável pela geração do vapor da pressão imediatamente inferior à utilizada. No caso do vapor de alta pressão, a diferença entre consumidores e produtores (**100,9 t/h**) foi lançada nas redutoras de pressão existentes (PV) que têm a função de transformar vapor de alta pressão em vapor de média pressão e são difíceis de serem estimadas.

Este método não permitiu estabelecer uma estimativa das perdas atmosféricas específicas do vapor de alta, média ou baixa, mas serviu para obter-se uma estimativa das perdas para todo o sistema de vapor, já que elas vieram se acumulando entre as transferências de pressões dos diversos vapores. Esta estimativa tornou-se possível quando se obteve a diferença entre todos os produtores e consumidores (geradores de condensados – medido) do vapor de baixa pressão. As Tabelas de 5.17 a 5.22 mostram os equipamentos identificados como consumidores e produtores dos variados tipos de vapor e a coluna observações especifica as considerações metodológicas ou produto gerado após o consumo.

Como resultado da metodologia apresentada, conclui-se que 12,5 t/h de vapor são perdidos para a atmosfera de forma não medida, e 24,1 t/h são perdas medidas, totalizando **36,6 t/h** de água proveniente do sistema de vapor que se perde para a atmosfera.

Com relação ao balanço interno da CAFOR, os dados de vazão coletados foram organizados em entradas e saídas em relação aos desaeradores, já que toda água destinada à geração de vapor é enviada a esses equipamentos e posteriormente às caldeiras e processos. Como pode ser observado na Tabela 5.23, houve uma diferença de **181 t/h (18,7 %)** entre as entradas e as saídas, valor que não pode ser considerado como perdas por se tratar de uma vazão relativamente grande. Provavelmente essa diferença é referente a falhas nas medições, fato compreendido, se considerado a quantidade de instrumentos que foram levados em conta para este balanço.



**Tabela 5.17** – Produtores de vapor de alta pressão e estimativas da vazão.

UNIDADE DE PROCESSO	PRODUTOR	VAZÃO(t/h)	OBSERVAÇÕES
<b>U – 631 CAFOR</b>	Caldeira-6301C	35,9	Foram considerados os valores de saída de V91 produzido em cada caldeira
	Caldeira-6301B	57,7	
	Caldeira-6301A	58,4	
	Caldeira-6302	79,5	
	Caldeira-6303	79,6	
<b>U – 220 e U – 220A CRAQUEAMENTO</b>	Caldeira-2201	101,0	
	Caldeira-22501	122,5	
<b>TOTAL</b>		<b>534,6</b>	

**Tabela 5.18** – Consumidores de vapor de alta pressão e estimativas de vazão.

UNIDADE DE PROCESSO	CONSUMIDOR	VAZÃO (t/h)	OBSERVAÇÕES
<b>U – 631 CAFOR</b>	Gerador-6301C	63,0	52,8 → V13 10,1 → Condensado
	Gerador-6301B	58,4	48,4 → V13 10,2 → Condensado
	Gerador-6301A	58,2	47,2 → V13 11,1 → Condensado
<b>U – 220 CRAQUEAMENTO</b>	Turbina do Compressor-2201	70,3	Total → V13
	Turbina do Soprador-2201	45,0	Total → Condensado
<b>U – 220A CRAQUEAMENTO</b>	Turbina do Compressor-22501	55,7	Total → V13
	Turbina do Soprador-22501	26,1	5,8 → V13 20,3 → Condensado contaminado
<b>U – 612 - Resfriamento</b>	Bomba-6121	32,0	Total → V3
<b>U – 612 A - Resfriamento</b>	Bomba-6151	25,0	Total → V13
<b>Tubovia de V91</b>	PV (Redutoras)	100,9	Total → V13 Sobras de V91 no balanço interno da CAFOR (20,2 + 80,7)
<b>TOTAL</b>		<b>534,6</b>	<b>380,9 → V13 57,0 → V3 76,4 → Condensado 20,3 → Condensado contaminado</b>

**Tabela 5.19** – Produtores de vapor de média pressão e estimativas da vazão.

UNIDADE DE PROCESSO	PRODUTOR	VAZÃO (t/h)	OBSERVAÇÕES
<b>U – 631 CAFOR</b>	Gerador-6301C	52,8	Saída de V13 dos Geradores
	Gerador-6301B	48,4	
	Gerador-6301A	47,2	
<b>U – 220 CRAQUEAMENTO</b>	Turbina do Compressor-2201	70,3	Saída de V13 da Turbina
	Permutador-2210A/B	32,6	Saída de V13 dos Permutadores
<b>U – 220A CRAQUEAMENTO</b>	Turbina do Compressor-22501	55,7	Saída de V13 das Turbinas
	Turbina do Soprador-22501	5,8	
	Permutador-22552A/B	49,8	Entrada de Água de Média no LB
	Permutador-22545A/B		
<b>U – 612A</b>	Bomba-6151	25,0	Entrada de V91
<b>U – 910 B URE III</b>	LB	0,2	Sobras de V13 no LB
<b>U – 910 C URE IV</b>	LB	0,4	
<b>Tubovia de V91</b>	PVs (Redutoras)	100,9	A partir de V91
	PVs (Redutoras)	10,0	A partir de Água de Média usada no resfriamento das PVs
<b>TOTAL</b>		<b>499,1</b>	

**Tabela 5.20** – Consumidores de vapor de média pressão e estimativas da vazão.

UNIDADE DE PROCESSO	CONSUMIDOR	VAZÃO (t/h)	OBSERVAÇÕES
<b>U - 631 CAFOR</b>	Turbina	45,2	45,2 → V3 Parte das sobras de V13 no balanço interno da CAFOR
	Diversos	24,1	24,1 → Condensado (1,8 + 18,2 + 4,1)
<b>U - 220 CRAQUEAMENTO</b>	Diversos	38,6	8,3 → Condensado 26,9 → Água Ácida 3,4 → Perdas p/ atmosfera
<b>U - 220A CRAQUEAMENTO</b>	Reator-22501	30,3	28,5 → Água Ácida 1,8 → Perdas p/ atmosfera
<b>U - 200 DESTILAÇÃO</b>	LB	57,8	12,8 → V3 45,0 → Água Ácida
<b>U - 260 (SOLVENTE)</b>	LB	16,9	16,9 → V3
<b>U - 200 A DESTILAÇÃO</b>	LB	50,7	50,7 → Água Ácida
<b>U - 283 / U - 241 HDT / UGH</b>	LB	19,6	13,3 → V3 6,3 → Condensado
<b>U - 283A / U - 241A HDT / UGH</b>	LB	15,9	15,9 → V3
<b>U - 980 COQUE</b>	LB	25,8	6,8 → V3 19,0 → Água Ácida
<b>U - 980 A COQUE</b>	LB	23,2	4,5 → V3 18,7 → Água Ácida
<b>U - 683 Águas Ácidas</b>	LB Calculado	46,1	43,2 → Condensado 2,9 → Água Ácida
<b>U - 683 A Águas Ácidas</b>	LB	23,5	21,0 → Condensado 2,5 → Água Ácida
<b>U - 683 B Águas Ácidas</b>	LB	17,8	17,8 → Condensado
<b>TOTAL</b>		<b>435,5</b>	<b>115,4 → V3 120,7 → Condensado 194,2 → Água Ácida 5,2 → Perdas atmosféricas</b>
Diferença entre produção e consumo de V13: $499,1 - 435,5 = 63,6$ (12,7 %) → Consumo não detectado ou perdas não estimadas			

**Tabela 5.21** – Produtores de vapor de baixa pressão e estimativas da vazão.

UNIDADE DE PROCESSO / ORIGEM	VAZÃO (t/h)	OBSERVAÇÕES
A partir de V91	32,0	Ver tabela de consumo de vapor de alta
A partir de V13 (medido)	115,4	Ver tabela de consumo de vapor de média
A partir de V13 (Sobras)	63,6	Ver tabela de consumo de vapor de média
U - 910 B URE III	1,5	Gerados a partir de Água de média
U - 910 C URE IV	2,5	
<b>TOTAL</b>	<b>215,0</b>	

**Tabela 5.22** – Consumidores de vapor de baixa pressão e estimativas da vazão.

UNIDADE DE PROCESSO	CONSUMIDOR	VAZÃO (t / h)	OBSERVAÇÕES
U - 631 CAFOR	Desaeradores	112,5	LB (entrada) 112,5 → Águas de Alta e Média
U - 200 DESTILAÇÃO	Diversos	14,3	6,8 → Condensado Limpo 7,5 → Perdas atmosféricas
U - 200 A DESTILAÇÃO	Diversos	21,5	6,8 → Condensado Limpo 3,3 → Água ácida 11,4 → Perdas atmosféricas
U - 220 CRAQUEAMENTO	Permutadores	10,3	10,3 → Condensado Limpo
U - 220A CRAQUEAMENTO	Permutadores e Diversos	32,1	7,8 → Condensado 24,3 → Água Ácida
U - 683 A Águas Ácidas	Diversos	6,7	6,7 → Condensado Limpo
U - 683 B Águas Ácidas	Diversos	5,1	5,1 → Condensado Limpo
<b>TOTAL</b>		<b>202,5</b>	<b>112,5 → Águas de Alta e Média</b> <b>43,5 → Condensado Limpo</b> <b>27,6 → Água Ácida</b> <b>18,9 → Perdas atmosféricas medidas</b>
Serão consideradas perdas não medidas de vapor (geral) a diferença entre o V3 produzido e consumido (12,5 t/h)			

**Tabela 5.23 – Balanço interno da CAFOR**

TIPO DE ÁGUA		UNIDADE DE PROCESSO/ ORIGEM	VAZÃO (t/h)	OBSERVAÇÕES
ENTRADAS	Condensado Limpo	U - 683A – Águas Ácidas	27,7	Soma de V13 e V3
		U - 283 - HDT U - 241 - UGH	36,3	
		Cafor Interno	6,0	
		PAV caldeiras	4,0	
		U - 283 A - HDT U - 241 A - UGH	37,2	A partir de Água de Alta e de Média
		U - 683 B ( ETDI )	0,0	Alinhados para ETDI durante o período considerado
		U - 980 A ( ETDI )		
		U - 200 / A	58,6	
		U - 220 / A + U - 683	69,7	Considerado sem perdas
		Geradores da CAFOR	31,4	A partir do V91
	Condensado Contaminado (ETC)	Permutadores 6302ABCDE	4,1	Originado a partir de V13
		TQ-4412/13 + Área Externa	42,3	88 (V-6303 A) – (18,2 (Aquecimento e Atomização do Óleo) – 27,5 (Ág. Desmi. Resfriamento))
		Aquecimento e Atomização do Óleo	18,2	Originado a partir de V13
	RETORNO DE CONDENSADO		335,5 (42,7% do total de saída)	
	V3	Limite de Bateria	112,5	Tubovia
	V3	Turbinas Internas	45,2	Gerado a partir de V13
	TOTAL DE RETORNO (COND. + V3)		493,2 (62,7% do total de saída)	
	Água Desmineralizada	U-620	474	Limites de Bateria da Troca Iônica e Osmose Reversa
TOTAL ENTRADAS		967,2		
SAÍDAS	Água de Alta	CAFOR – GV-6301A/B/C; GV-6302 e GV-6303	318,6	Considerado como produção de V91 + Purgas das caldeiras
		U - 220 GV-2201	102,5	
		U - 220A GV-22501	124,0	
		U - 283/A e U - 980/A	97,1	
	Água de Média	Limite de Bateria da CAFOR	144,0	
	TOTAL SAÍDAS		786,2	
BALANÇO DE ENTRADAS E SAÍDAS DA CAFOR			967,2 – 786,2 = 181,0 (18,7 %)	

Um fator que deve ser levado em conta é que a produção de vapor de alta pressão possui um nível de medição em melhores condições em relação aos demais, devido à necessidade de realização de um controle refinado da produção energética por parte da refinaria. Todos os consumidores de vapor de alta pressão foram descritos em tabelas e diagramas, e, como pode ser visualizado na Tabela 5.18, existe um excesso de V91 (100,9 t/h) que foi considerado como carga das PV para geração de V13. Na hipótese de os valores de saída estarem errados, e os de entrada estiverem corretos, a diferença entre produção e consumo de V91 será ainda maior (mais 181 t/h), levando a um aumento, na mesma quantidade, de V13 produzido a partir de V91 nas PV. Esta afirmação torna-se incompatível com os propósitos da refinaria, já que grande quantidade de energia estaria sendo gerada para ser posteriormente desperdiçada sem nenhuma utilidade. Com isso, os valores de entrada são mais adequados para serem considerados como verdadeiros. As possibilidades de erros podem ser referentes às medições dos retornos de condensado ou um excesso de injeção de V3 nos desaeradores proveniente das tubovias ou da saída da turbina interna da própria CAFOR. Na Figura 5.8 é resumido o balanço dos desaeradores da CAFOR.

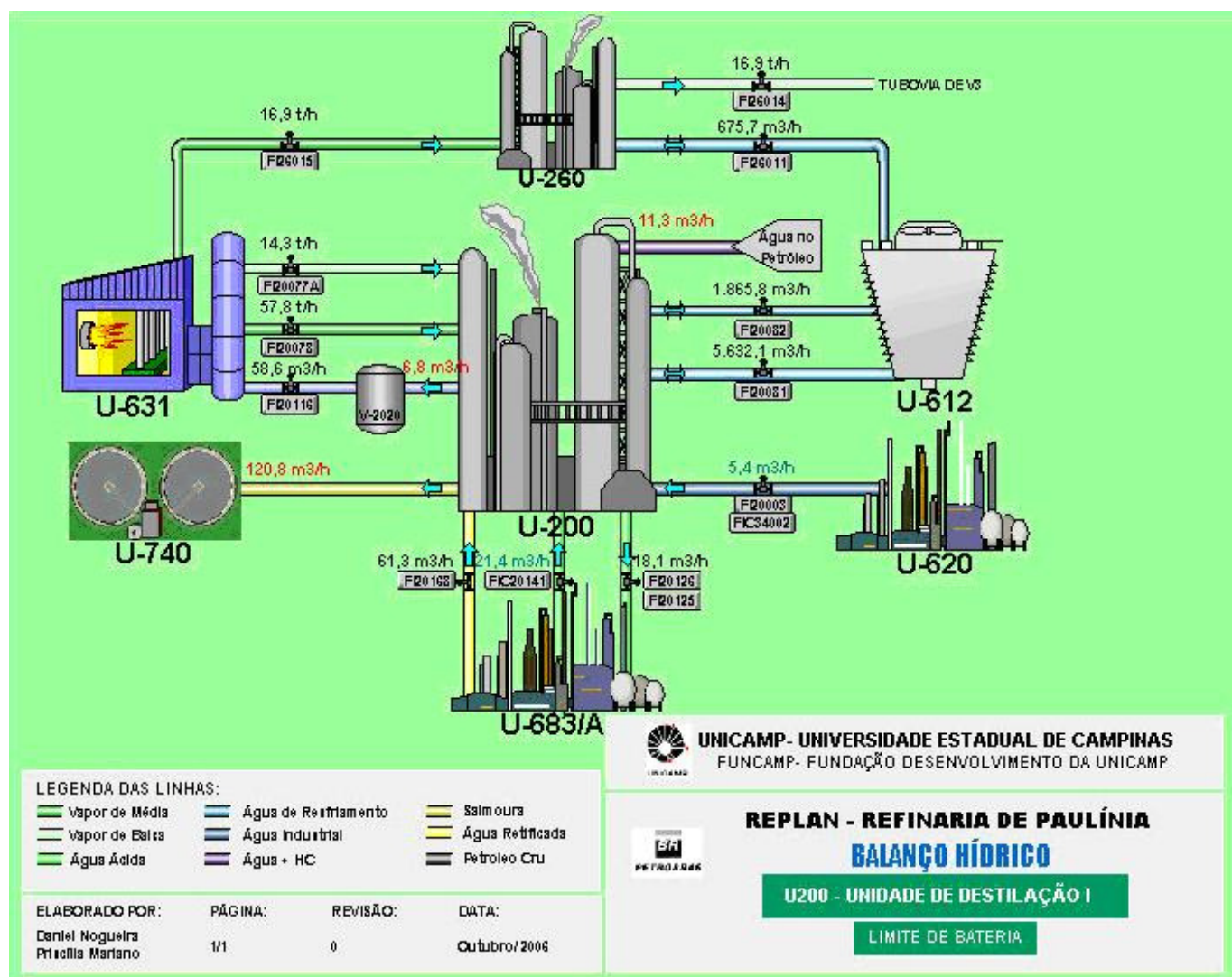


**Figura 5.8** – Resumo das entradas e saídas nos desaeradores internos da CAFOR

#### **5.1.5 U-200/A: Destilação Atmosférica e a Vácuo**

Essas unidades manifestam o maior consumo entre os processos de refino, devido ao sistema de dessalgação do petróleo bruto que necessita de uma grande quantidade de água para a retirada de impurezas do mesmo.

Nas Figuras 5.9 e 5.10, são apresentados os fluxogramas nos limites de bateria dessas unidades.

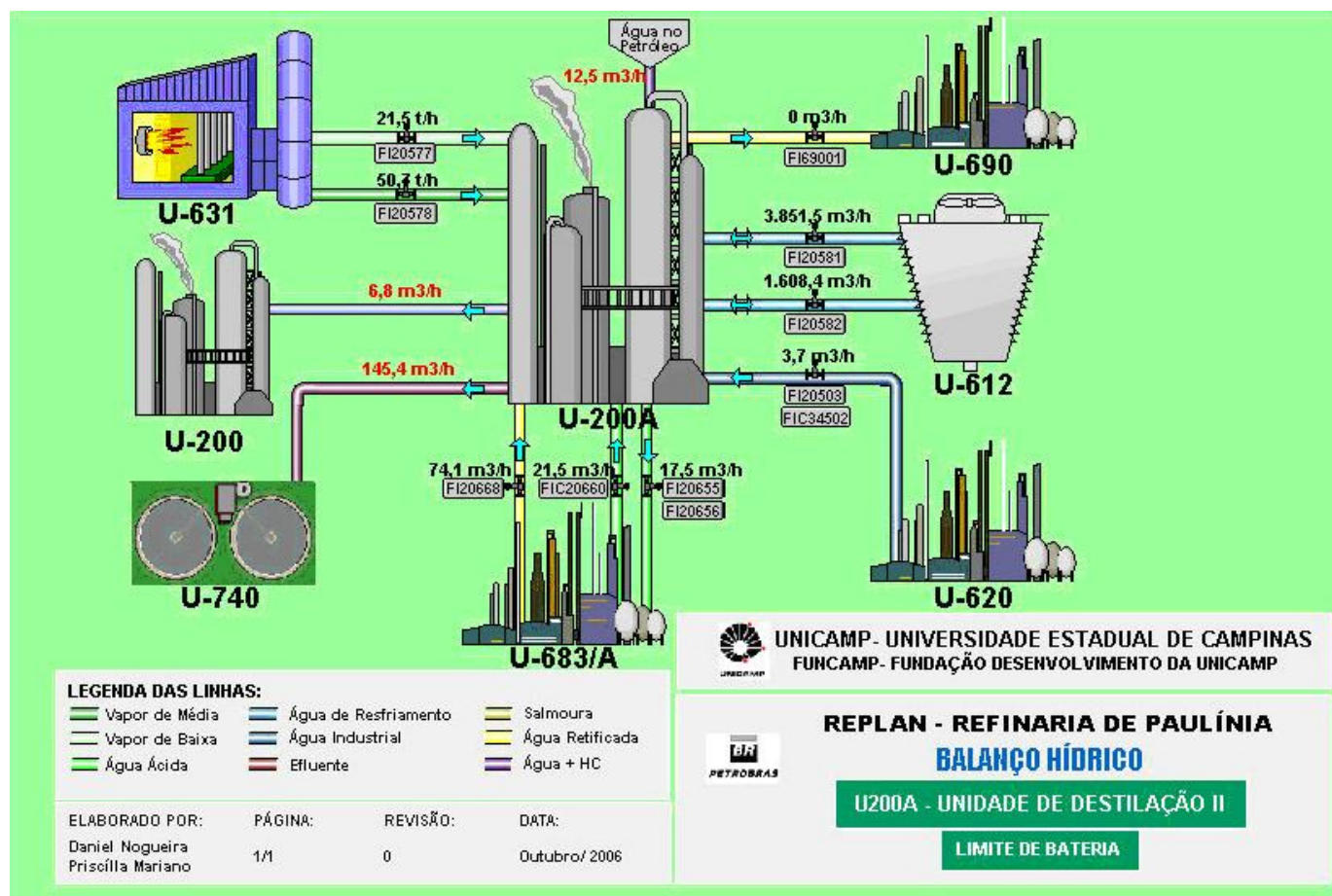


**Figura 5.9** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de DESTILAÇÃO I (U-200), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

Identificaram-se, nestas unidades vazões consideráveis de água ácida retificada que não está sendo utilizada, pois não existem consumidores que possam enquadrarem-se às características qualitativas referente às contaminações nelas presentes, principalmente por óleos e graxas. Para evitar esse desperdício, que obriga o direcionamento dessas vazões à ETDI, a REPLAN investiu na construção de unidade a base de filtros de membrana e carvão ativado para melhorar as características dessas águas ácidas retificadas, com o



propósito de reutilizá-las como reposição às torres de resfriamento, proporcionando um reuso de aproximadamente 56 m<sup>3</sup>/h para as duas unidade de destilação. A unidade foi finalizada, mas não está em operação, pois as membranas saturavam-se muito rapidamente. Atualmente, a REPLAN, juntamente com o fornecedor da tecnologia da unidade estão realizando estudos para identificar ações para resolução do problema.



**Figura 5.10** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de DESTILAÇÃO II (U-200A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

Quanto à geração de efluentes, estas unidades contribuem com grande parte da geração total da refinaria, devido, principalmente, ao sistema de dessalgação, podendo ser visualizado na Tabela 5.24.



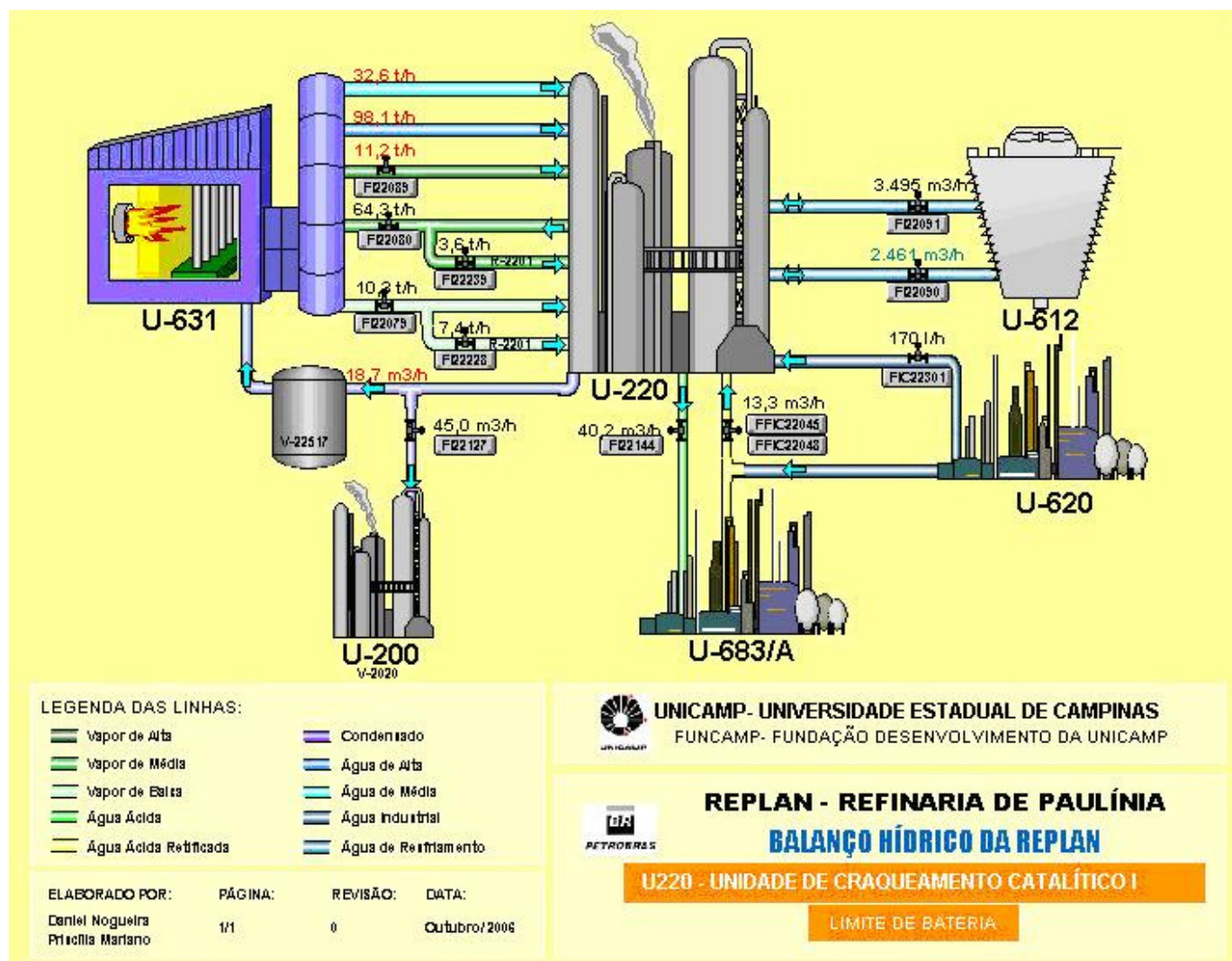
**Tabela 5.24** – Contribuições das unidades de destilação para a geração de efluentes

<b>U-200 UNIDADE DE DESTILAÇÃO I</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Dessalgação	Ácida Retificada	108,9	90,1	17,4	Salmoura
Dessalgação	Industrial	4,9	4,1	0,8	Salmoura
Dessalgação	Contida no Petróleo Bruto	6,4	5,3	1,0	Salmoura
Trat. Bender	Industrial	0,6	0,5	0,1	SAO
<b>TOTAL</b>		<b>120,8</b>	<b>100</b>	<b>19,3</b>	
<b>U-200A UNIDADE DE DESTILAÇÃO II</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Dessalgação	Ácida Retificada	134,2	92,7	21,4	Salmoura
Dessalgação	Industrial	3,0	2,1	0,5	Salmoura
Dessalgação	Contida no Petróleo Bruto	6,8	4,7	1,1	Salmoura
Trat. Bender	Industrial	0,7	0,5	0,1	SAO
<b>TOTAL</b>		<b>144,7</b>	<b>100</b>	<b>23,1</b>	
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>265,5</b>		<b>42,4</b>	

#### 5.1.6 U-220/A: Craqueamento Catalítico

Estas unidades também possuíam diferenças entre os medidores, onde esperavam-se dados semelhantes, principalmente entre as injeções de vapor no reator e o instrumento que media a vazão total dessas injeções. Dessa forma, considerou-se a vazão do instrumento da

medição total, que, teoricamente, continha uma menor possibilidade de erro. As Figuras 5.11 e 5.12, apresentam os fluxogramas nos limites de bateria das respectivas unidades.



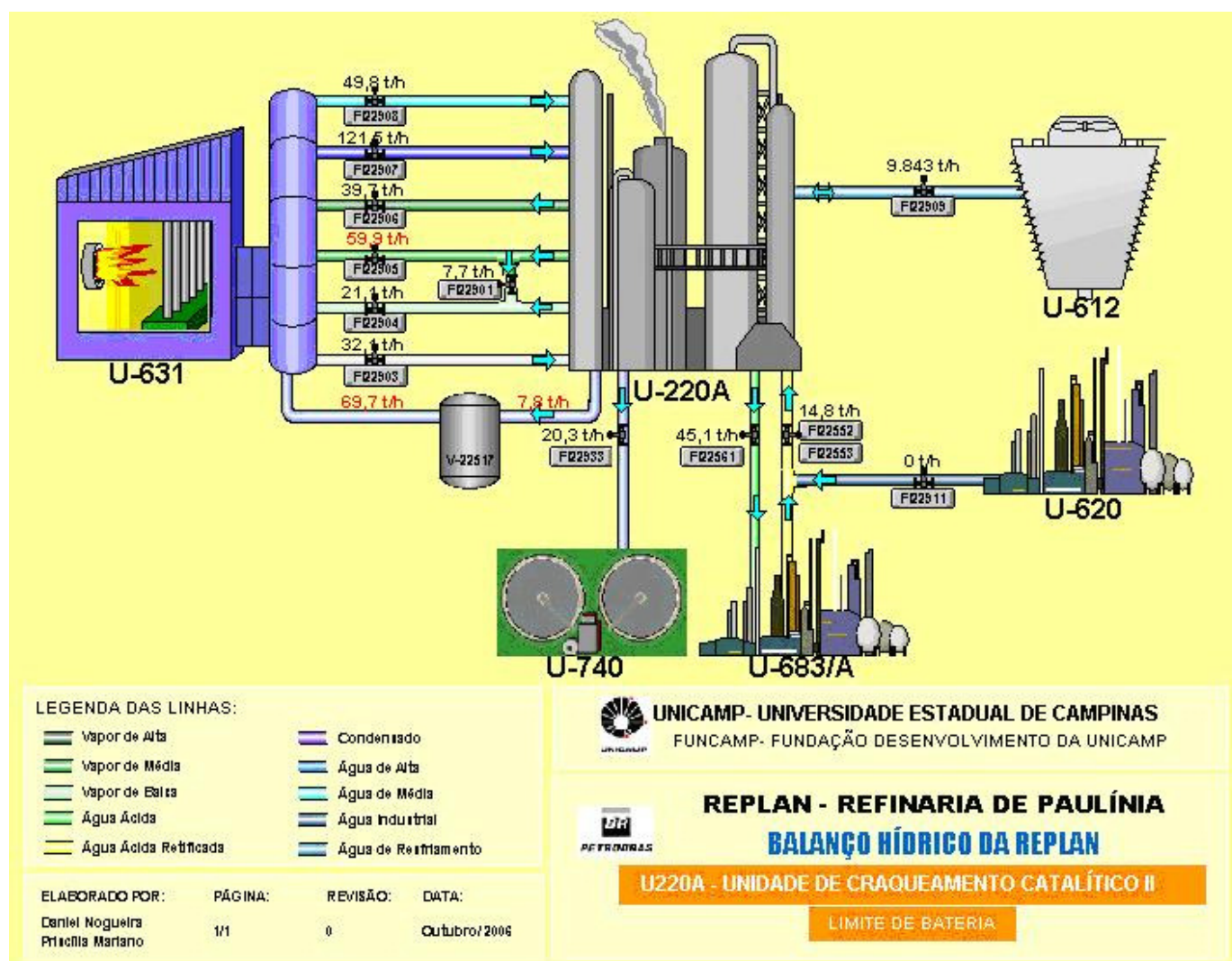
**Figura 5.11** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de CRAQUEAMENTO CATALÍTICO I (U-220), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

A unidade U-220A possui um problema de manutenção no sistema do soprador (SP-22501). Este sistema conta com um trocador de calor que está perfurado devido à corrosão, ocorrendo a contaminação por água de resfriamento no condensado considerado apto à retornar para geração de vapor. Este problema faz com que não só haja uma geração desnecessária de efluente, como também a necessidade de aumento da água captada, além

do desperdício da energia contida no condensado. Isso poderá ser resolvido por meio de manutenção no trocador de calor, porém, esta manutenção só é possível quando a unidade for paralisada. Devido à grande importância desta unidade para a produção de combustíveis em que boa parte do Brasil é consumidor, a paralisação deve ser programada estrategicamente para que não ocorra a falta desses produtos, fato que inviabiliza a manutenção imediata. Esse desperdício de água e energia era do conhecimento de todos, e tais circunstâncias fazem com que permaneça até o momento.

Outras perdas observadas na unidade são as águas utilizadas na selagem de tipo gaxeta de algumas bombas. Em alguns casos, os vazamentos ocorrem tanto nas bombas em operação, quanto nas bombas reserva. Todo o volume do vazamento é enviado para a ETDI. A estimativa também foi realizada por intermédio de medições volumétricas, neste caso, com um béquer de 500 mL. Esse tipo de desperdício também foi encontrado em outras unidades, porém em menor quantidade volumétrica, sendo por isso descartada a necessidade de estimativas.

Na Tabela 5.25 é identificada a quantificação dos envios de água para a ETDI encontradas nas unidades de Craqueamento Catalítico.



**Figura 5.12** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de CRAQUEAMENTO CATALÍTICO II (U-220A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

**Tabela 5.25** – Contribuições das unidades de craqueamento para a geração de efluentes

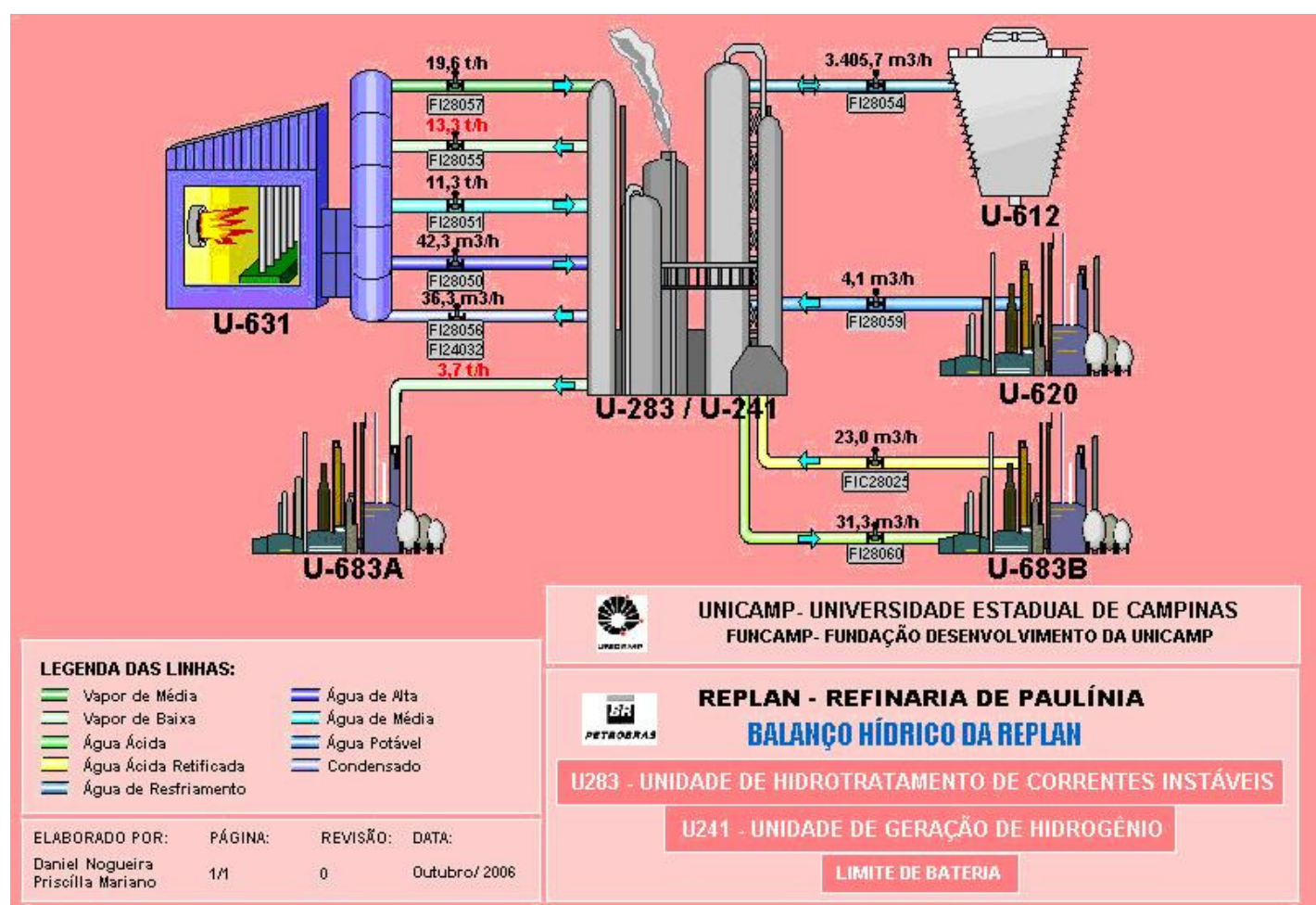
<b>U-220 UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO I</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Vazamento por Gaxeta	Resfriamento	0,2	100	0,0	S.A.O.
<b>TOTAL</b>		<b>0,2</b>		<b>0,0</b>	
<b>U-220A UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO I</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
SP-22501	Condensado. cont. por A.R.	20,3	99,5	3,2	S.A.O.
Vazamento por Gaxeta	Resfriamento	0,1	0,5	0,0	S.A.O.
<b>TOTAL</b>		<b>20,4</b>	<b>100</b>	<b>3,2</b>	
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>20,6</b>		<b>3,2</b>	



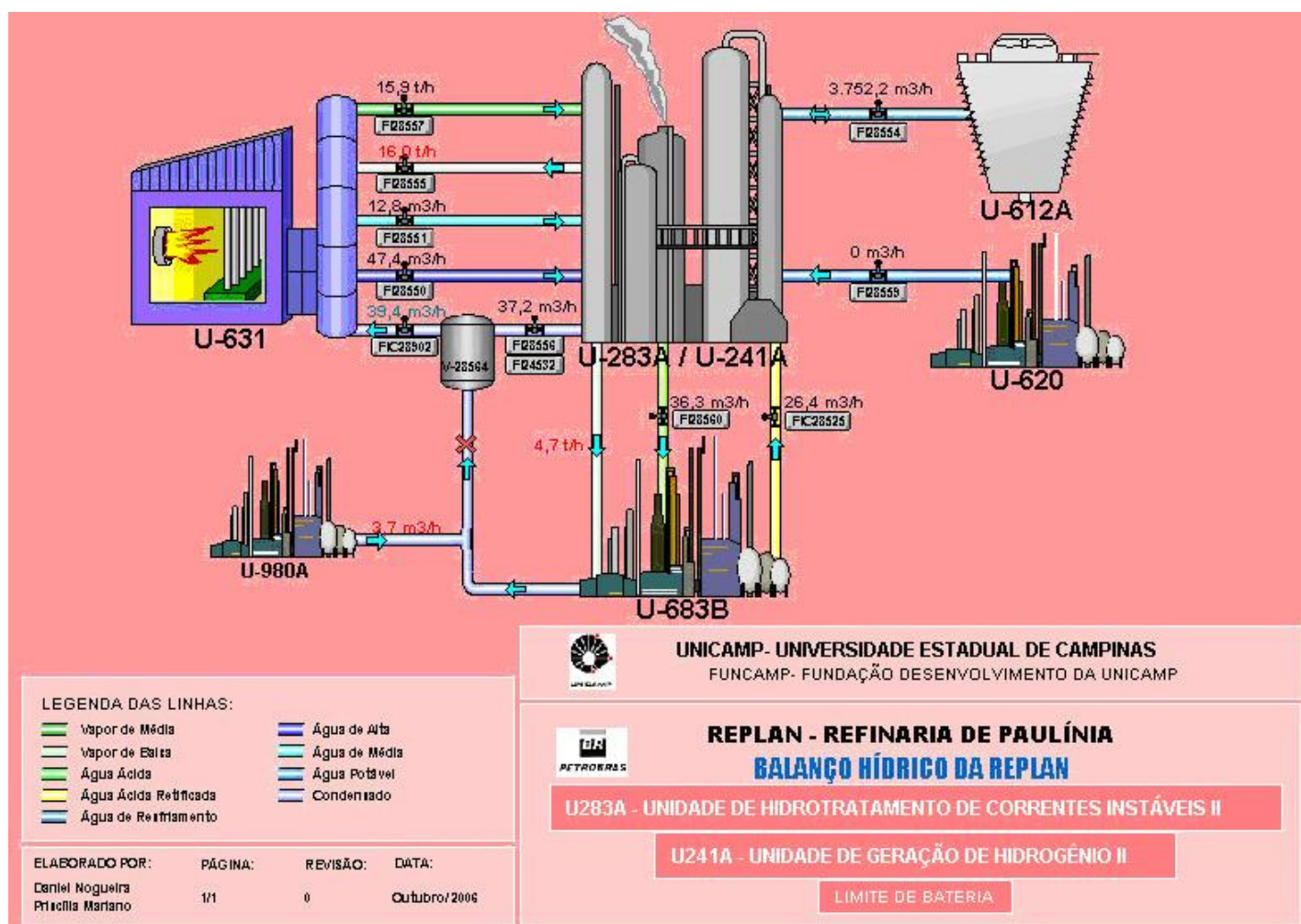
### 5.1.7 U-283/A e U-241/A: Hidrotratamento e Geração de Hidrogênio

Tratam-se de unidades construídas há menos de cinco anos e com um nível de medição adequado para o fechamento do balanço hídrico. A calibração de alguns instrumentos foi fundamental para o fechamento dos dados. Nas Figuras 5.13 e 5.14 são apresentados os respectivos fluxogramas nos limites de bateria dessas unidades.

Estas unidades geram apenas efluentes provenientes de vazamentos nas gaxetas, mas em quantidades muito reduzidas.



**Figura 5.13** – Fluxograma de processo no limite de bateria das unidades de HIDROTRATAMENTO I e GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO I (U-283/U241), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

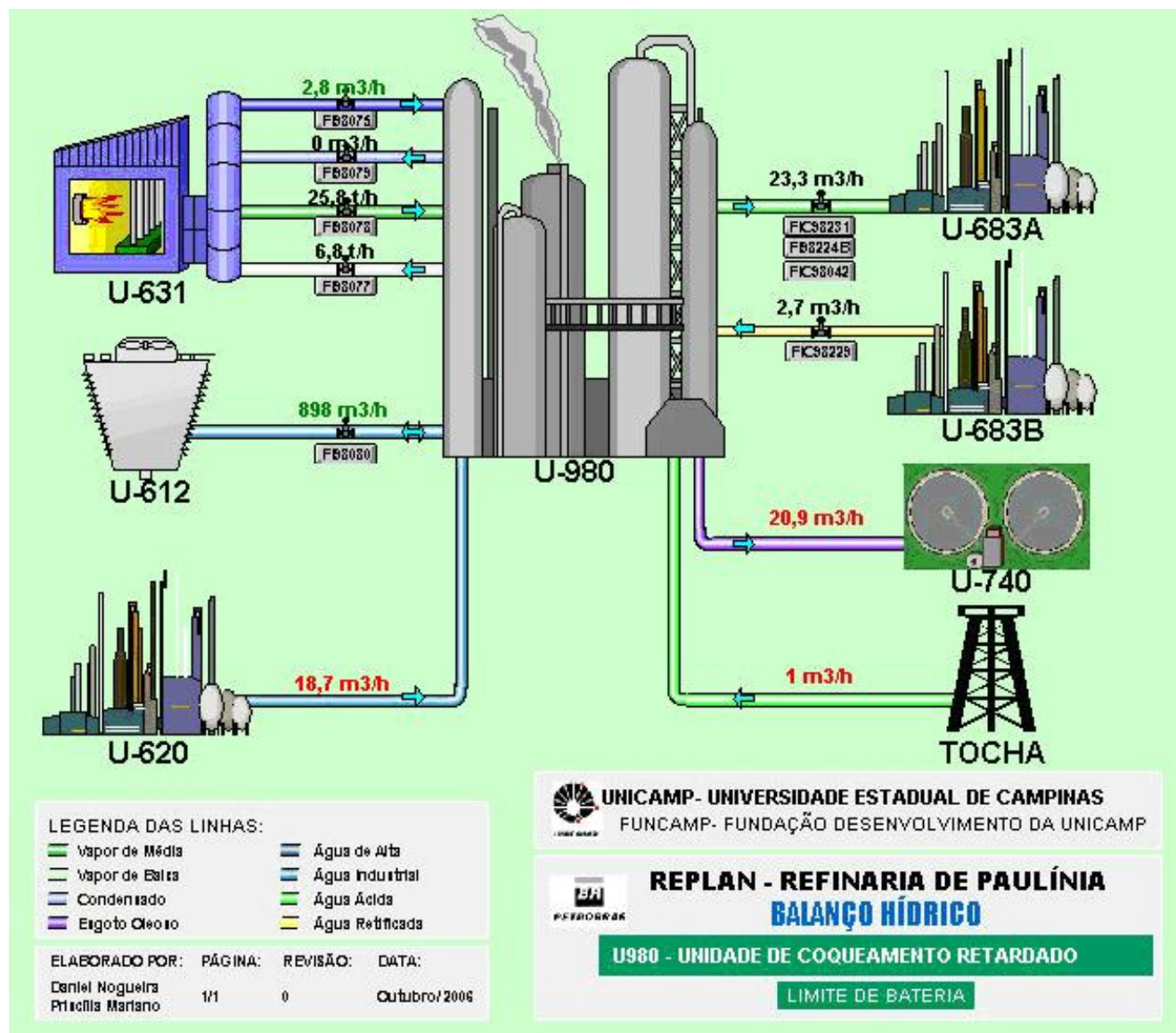


**Figura 5.14** – Fluxograma de processo no limite de bateria das unidades de HIDROTRATAMENTO II e GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO II(U-283A/U241A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

### 5.1.8 U-980/A: Coqueamento Retardado

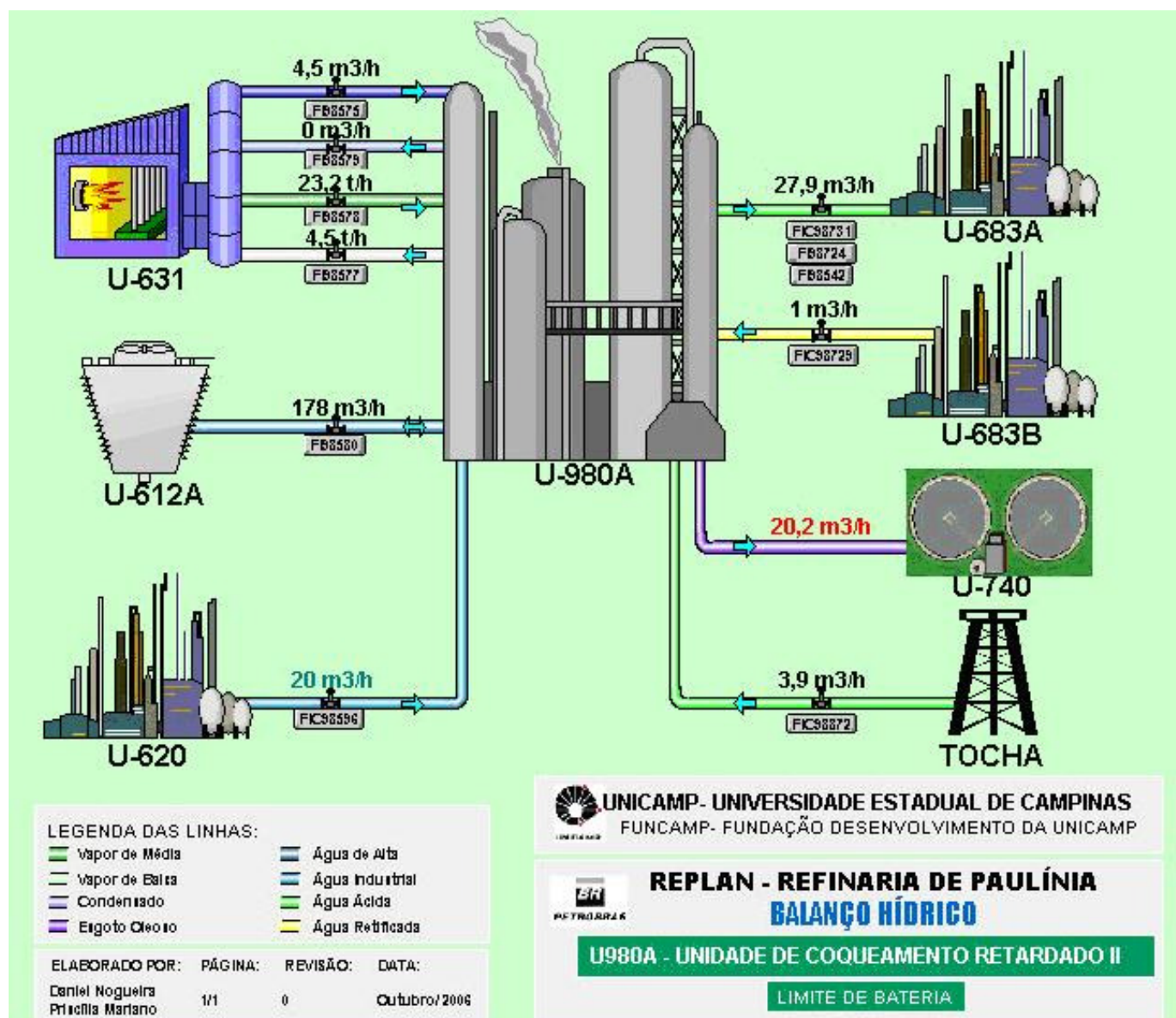
Estas unidades também apresentam contaminação de condensado, gerando efluentes desnecessários. Esta contaminação ocorre nos fornos devido a um defeito na retenção do sistema de injeção de vapor, entrando em contato com a carga. Será necessária a instalação de válvulas que bloqueiem esse contato, para sanar esse problema. Estas ações já foram iniciadas. Essa contaminação é a única geração de efluente da unidade, e sua quantificação está expressa na Tabela 5.26.

Nas Figuras 5.15 e 5.16 são apresentados os fluxogramas das unidades em seus respectivos limites de bateria.



**Figura 5.15** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de COQUEAMENTO RETARDADO I (U-980), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.





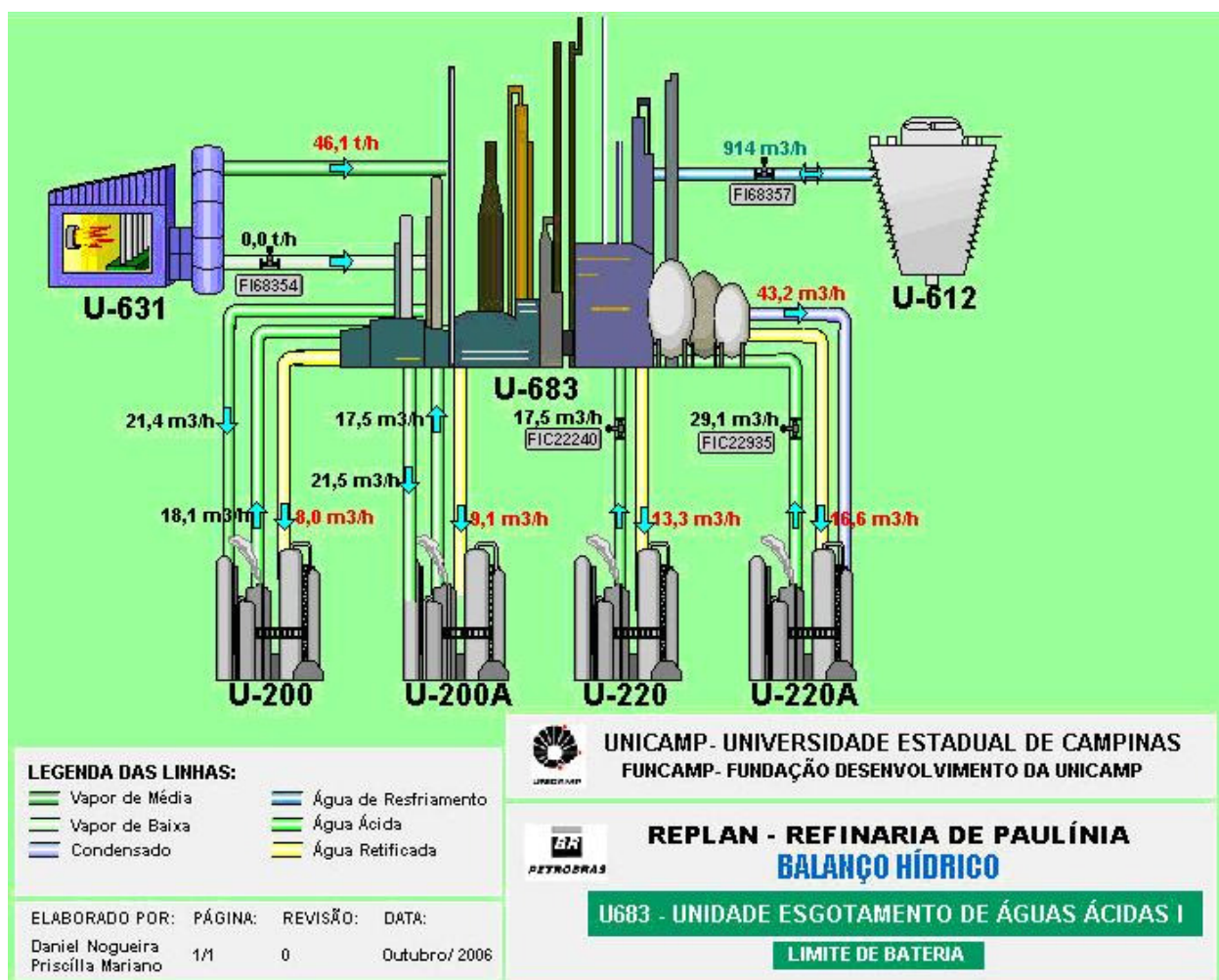
**Figura 5.16** – Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de COQUEAMENTO RETARDADO II (U-980A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

**Tabela 5.26** – Contribuições das unidades de coqueamento para a geração de efluentes

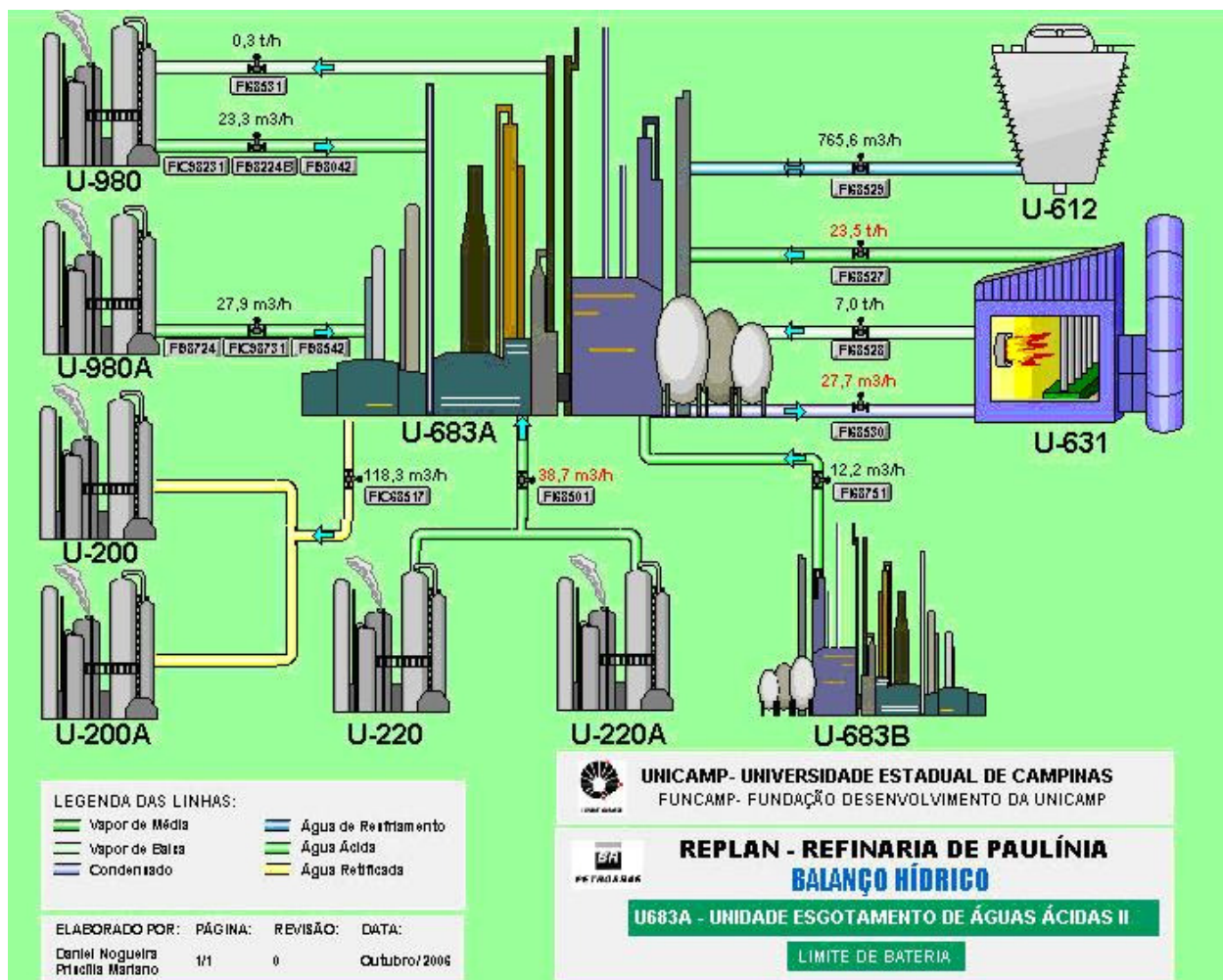
<b>U-980 UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO I</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Condensado	Vapor Contaminado	20,9	100	3,3,	C.A.C.
<b>TOTAL</b>		<b>20,9</b>	<b>100</b>	<b>3,3</b>	<b>-</b>
<b>U-980A UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO II</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Tipo de Água de Origem</b>	<b>Vazão Estimada (m³/h)</b>	<b>% do Efluente Total da Unidade</b>	<b>% do Efluente para a ETDI</b>	<b>VIA</b>
Condensado	Vapor Contaminado	20,2	100	3,2	C.A.C.
<b>TOTAL</b>		<b>20,2</b>	<b>100</b>	<b>3,2</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>41,1</b>	<b>-</b>	<b>6,5</b>	<b>-</b>

### 5.1.9 U-631/A/B: Unidades de Retificação de Águas Ácidas

As unidades de retificação de águas ácidas pertencem a um sistema complexo quanto à medição da vazão de água. Praticamente todas as unidades de processo da refinaria possuem interligações com as unidades de retificação de águas ácidas, como pode ser visto nas Figuras 5.17 a 5.19, tornando suas operações amplamente flexíveis no que se refere a geradores e consumidores de água ácida. Em outras palavras, os produtores de água ácida têm opções de destino, assim como os consumidores de água ácida retificada, resultando em diversas hipóteses de interligações.

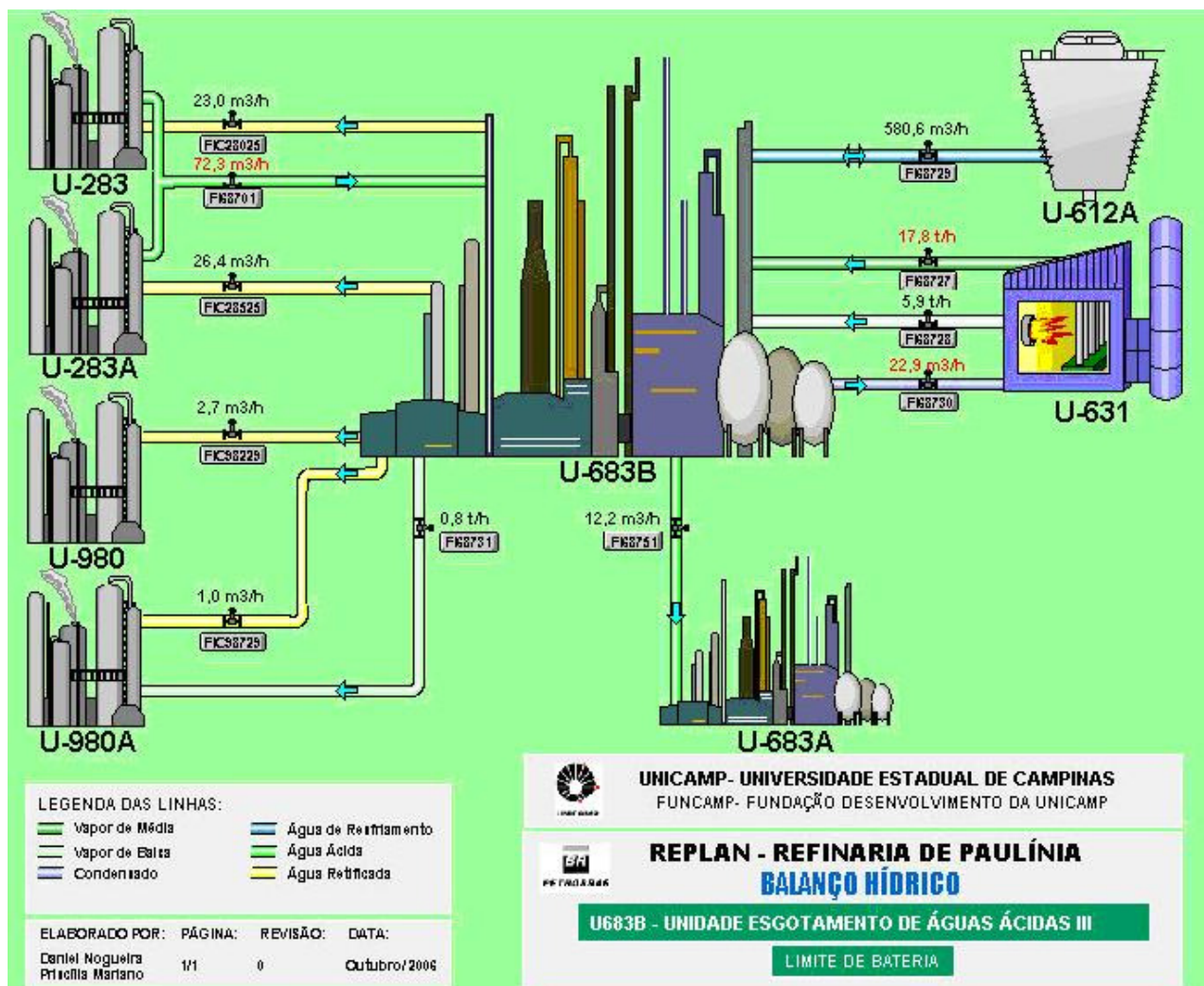


**Figura 5.17** - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS I (U-683), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.



**Figura 5.18** - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS II (U-683A), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.





**Figura 5.19** - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de RETIFICAÇÃO DE AGUAS ÁCIDAS III (U-683B), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

Para diminuir a complexidade do fluxograma hídrico. Sem, contudo, abdicar de informações importantes para o futuro gerenciamento do consumo de água na refinaria, foi realizado um único diagrama representando as três unidades de retificação. Este diagrama simplificado, manifestou um número muito menor de instrumentos de medição contínua de vazões em linha e, desta forma, permitiu alcançar dados mais consistentes para o balanço desse tipo de fluxo hídrico.

Inicialmente, houve grande dificuldade para fechamento do balanço de massa em função da grande variedade e flutuabilidade dos dados históricos. Após a seleção dos

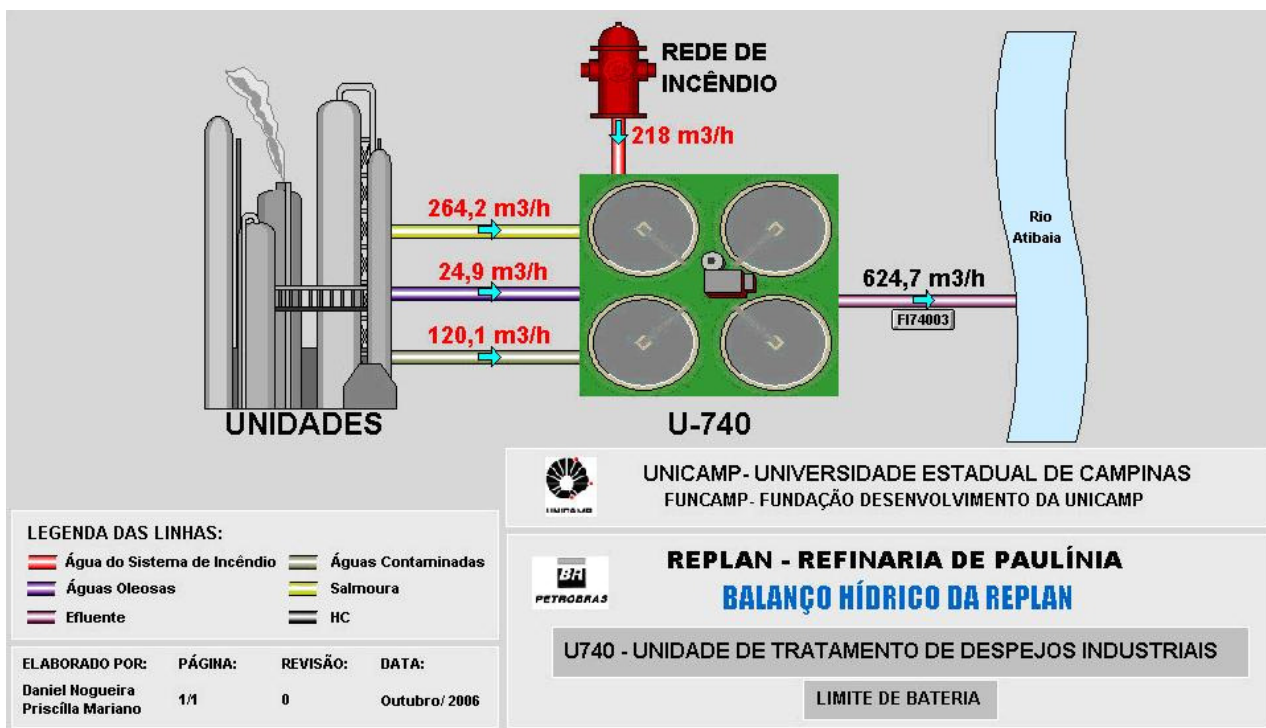
instrumentos mais significativos e respectivas calibrações dos mais estratégicos que manifestavam dados não confiáveis, conseguiu-se contornar o problema.

Estas unidades não geram efluentes líquidos industriais.

#### **5.1.10 U-740: Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI)**

As gerações de efluentes por parte das unidades de processo da refinaria de Paulínia, normalmente não contam com instrumentos de medição direta, já que são direcionados aos três tipos de sistemas de drenagem disponíveis, conforme já mencionado anteriormente: (i) águas contaminadas; (ii) águas oleosas e; (iii) salmoura. Desta forma, para a quantificação dessas vazões, fez-se necessário investir em balanços internos de cada unidade de processo e, por diferença entre a somatória de vazões dos diversos tipos e formas em que as águas entram e saem, foi possível quantificar os direcionamentos à ETDI. Deve-se destacar aqui, que, tal método, apesar de simplificado, foi o único passível de ser empregado, já que as perdas para a atmosfera, maiores responsáveis por possíveis erros no método, são de difícil quantificação instantânea e, mesmo que executadas, pouco serviriam a um balanço de massa em períodos históricos longos, como, por exemplo, um mês ou ano qualquer, função de sua variabilidade. Desta forma, optou-se pela aplicação desse método individualmente para cada unidade de processo, e, a diferença entre o que deveria chegar à ETDI e o que é medido no local, seriam as perdas globais não quantificadas na refinaria. Esses comentários estão apresentadas nos próprios tópicos das unidades geradoras feitos anteriormente.

Para realizarem-se comparações, a soma de todas as vazões identificadas durante a realização deste trabalho nas unidades geradoras de efluentes foi de **627,2 m<sup>3</sup>/h**. O instrumento de medição de vazão instalado na ETDI forneceu como valor médio **624,7m<sup>3</sup>/h**, no mesmo período considerado, conforme pode ser visualizado na Figura 5.20. A razão para esta pequena diferença está no fato da consideração de que toda a água de incêndio ter sido admitida como destinada à ETDI. Com isso, pode-se afirmar que a parcela não conhecida da vazão de água de incêndio que não entra efetivamente na ETDI constitui-se em parte das perdas não medidas, e que outra fonte não identificada, gera efluente para compensação da vazão total afluyente à ETDI.



**Figura 5.20** - Fluxograma de processo no limite de bateria da unidade de Tratamento de Efluentes Industriais -ETDI (U-740), com dados numéricos representativos da média do histórico de 01/07/2005 a 31/06/2006.

Na Tabela 5.27 é mostrado o resumo da quantidade de efluente gerada e direcionada para a ETDI por meio dos três sistemas de coleta. Como abordado anteriormente, estes sistemas são separados, pois possuem características diferentes. Estudos futuros podem ser realizados a fim de obterem-se tecnologias de tratamento adequadas para cada sistema, evitando-se assim que sejam misturados no “fim de tubo”, melhorando a eficiência do tratamento e até do reuso da água.

**Tabela 5.27** – Vazão total obtida através das unidades e contribuições das vias de acesso à ETDI

Sistema	Vazão Estimada (m <sup>3</sup> /h)	% do Efluente Enviado à ETDI
CAC	120,1	19,1
SAO	24,9	4,0
SALMOURA	264,2	42,1
CAC e SAO (Incêndio)	218,0	34,8
<b>TOTAL</b>	<b>627,2</b>	<b>100</b>

#### 5.1.11 U-1121: Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)

A medição da vazão no local é feita todos os dias às 10:00 h e às 15:00 h, pela altura, medida com uma régua, da água na passagem pela calha Parshall. A média obtida de Janeiro/2005 até Agosto/2006 foi de **12,5 m<sup>3</sup>/h**. Essa vazão sofre variações em períodos noturnos, pois a quantidade de pessoas que trabalham na empresa é bem menor. Além disso, ocorrem transportes de esgotos armazenados de sistemas de fossas sépticas estanques não interligadas à rede de coleta da REPLAN.

Teoricamente, o total de água potável produzido na refinaria (25 m<sup>3</sup>/h) deveria ser próximo à vazão verificada na ETE. A diferença (12,5 m<sup>3</sup>/h) pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- Parcela da vazão gerada de esgotos transportada por caminhões limpa-fossa em períodos diferentes aos das medições, devido à inexistência de tubulação;
- Parcela não mensurável da água potável utilizada em laboratórios, cuja contaminação a transforma em efluentes industriais, portanto, veiculadas à ETDI como águas contaminadas;

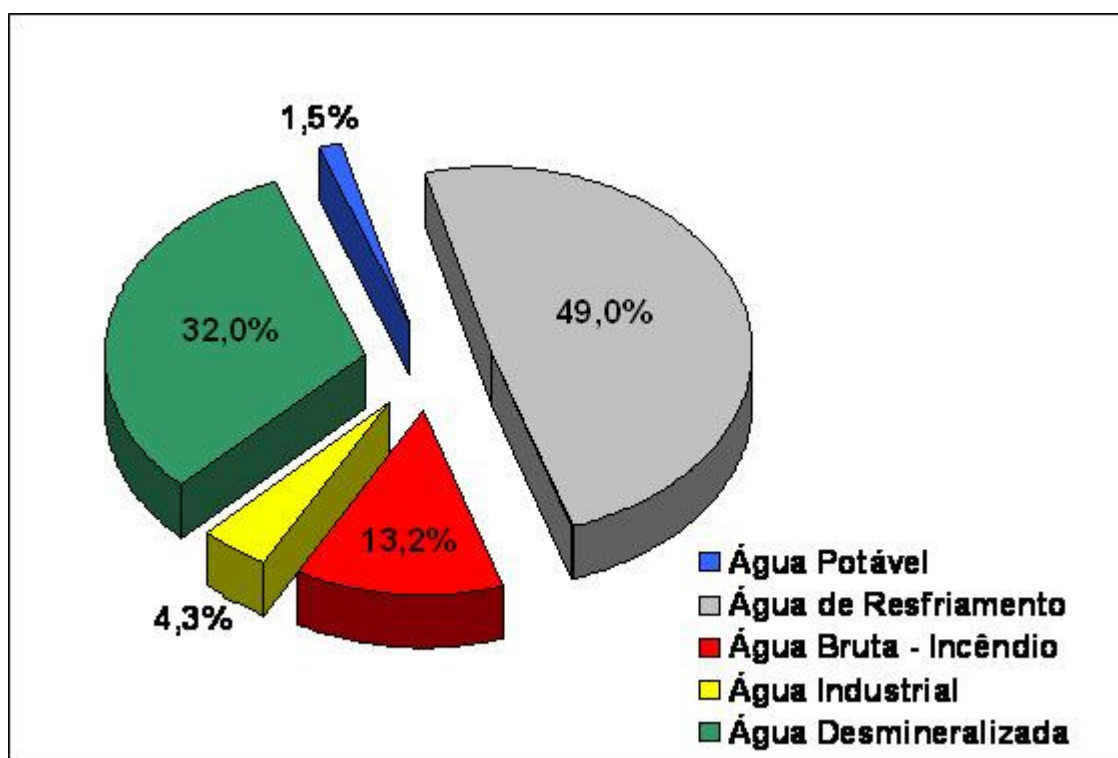


- Perdas para a atmosfera e/ou vazamentos em redes de distribuição e/ou usos não coletados pela rede de esgotos sanitários (lavagens de pisos das áreas administrativas, rega de vasos, etc);

## 5.2 Caracterização da REPLAN quanto aos Usos de Água

Neste tópico, serão resumidos alguns dados considerados importantes para a caracterização do uso da água na REPLAN. Isto será feito mediante gráficos para que seja facilitada a identificação dos consumidores dos diversos tipos de água e geradores de efluentes.

Na Figura 5.21 é mostrada a distribuição dos diversos usos da água, em relação à água bruta captada. Como pode ser observado, 49,0 % da água é destinada à reposição das perdas nas torres de resfriamento, sendo, o segundo maior consumidor de água “nova”, a CAFOR, destinando cerca de 32,0 % para geração de vapor.

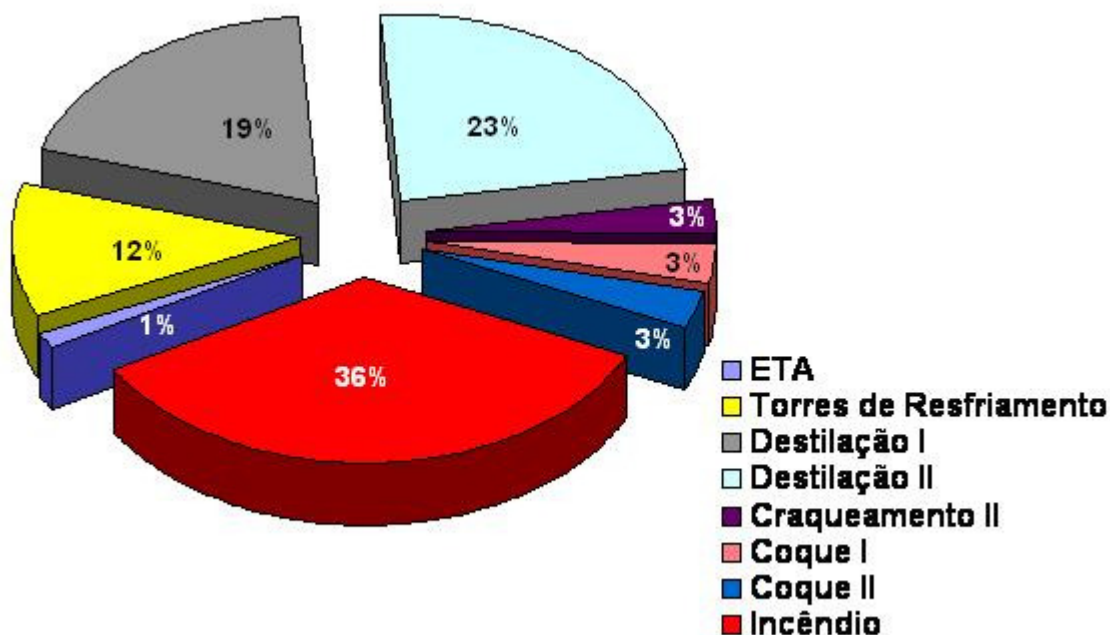


**Figura 5.21** – Distribuição do consumo de água captada na REPLAN

A rede de incêndio é pressurizada e distribuída por toda a refinaria. Por esse motivo, além de ser utilizada para treinamento dos bombeiros, também sofre diversos tipos de consumo como por exemplo: lavagens de peças e equipamentos em geral, testes hidrostáticos de tanques, lavagens de tanques, lavagens de pisos, entre outros. Por esse motivo, o consumo desse sistema chega a atingir uma vazão considerável, atingindo um montante de 13,2 % em relação à água captada no Rio Jaguari.

A água industrial (água filtrada na ETA), também denominada de água de processo, tem como maior consumidor as unidades de coqueamento, além de parcela exportada para a empresa EXXON, que paga por esse fornecimento. Seu montante representa cerca de 4,3 % do total, lembrando que dela são originados outros tipos de água, como potável, após a cloração, e desmineralizada, após passagem pelos processos de Troca Iônica ou Osmose Reversa, destinada à geração de vapor.

Na Figura 5.22 é mostrada a distribuição na geração de efluentes por parte de todas as unidades. O maior contribuinte é a água proveniente do sistema de incêndio, que, conforme admitido, considerou-se como de perdas inexistentes, apesar do erro evidente, porém, consciente, não existindo definição exata de sua qualidade, já que pode ser utilizada para diversas finalidades, conforme já comentado. A dificuldade da estimativa do montante de água desse sistema que chega até a ETDI remete-se ao fato de que parte da água utilizada evapora ou permeia no solo, tornando inviável seu cálculo nas bases deste trabalho.



**Figura 5.22** – Distribuição da geração de efluentes das unidades de processo da REPLAN

Na quantificação dos maiores geradores de efluentes, a seguir, destacam-se as unidades de destilação, com 19 e 23 %, respectivamente, para as unidades I e II, tendo os sistemas de dessalgação como o principal responsável.

As torres de resfriamento contribuem com 12 % referentes aos drenos para desconcentração do sistema.

A geração por parte da unidade de craqueamento II e dos Coques I e II são provenientes das contaminações dos condensados que são impedidos de retornarem para produção de vapor. Se esses problemas fossem solucionados, a geração de efluentes reduzir-se-ia em 9 % do total atual. Ao final, posiciona-se a ETA, particularmente, nas unidades de Troca Iônica e Osmose Reversa, responsáveis por cerca de 1 % dos efluentes da ETDI e já comentados anteriormente.

Para que se tenha uma idéia da quantidade de água proveniente de reusos já implantados na REPLAN, foi feito um levantamento e os resultados estão expressos na Tabela 5.28. Na mesma tabela, também é indicado o potencial de água para reuso que seria aproveitada sem muitas mudanças nos sistemas já instalados na refinaria. Este potencial está considerando as contaminações dos condensados das unidades de Coque I e II e

Craqueamento II. Além disso, considera também o reuso de água ácida retificada na torre de resfriamento (U-612), que deveria ter sido viabilizado pelo desempenho adequado da unidade de Tratamento de Água Ácida Retificada (U-690), que, como já colocado anteriormente, não está acontecendo devido a problemas de operação.

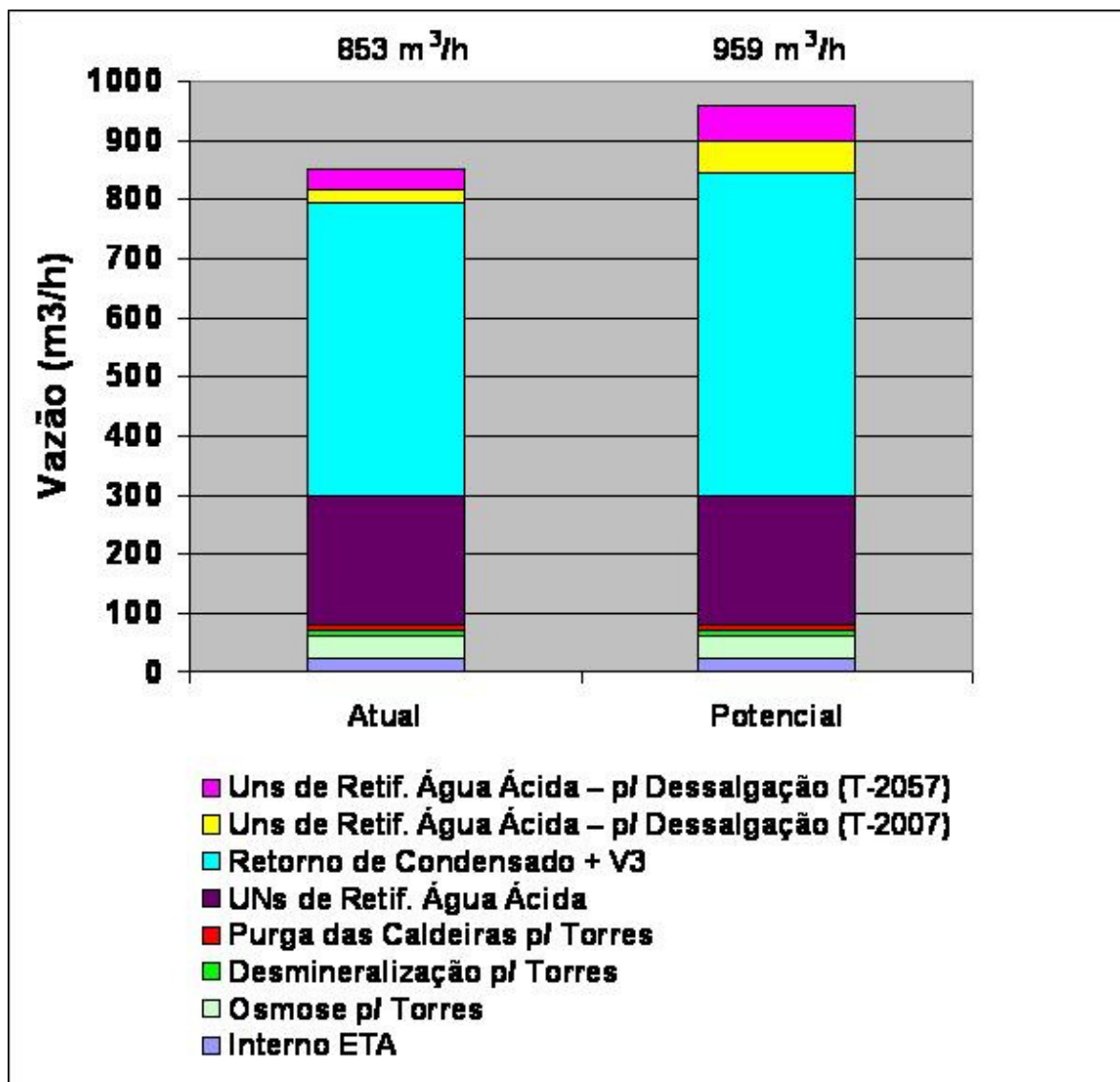
Estas medidas fariam com que se reduzisse em **106 m<sup>3</sup>/h** a quantidade de água bruta captada e também a geração de efluentes industriais, chegando a valores **6,4** e **16,9 %** inferiores, respectivamente.

**Tabela 5.28** – Vazões dos reusos atualmente realizados e potencial previsto após adaptações da U-690 e manutenção de equipamentos nos COQUES I e II e CRAQUEAMENTO II.

<b>Local do REUSO</b>	<b>ATUAL (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>POTENCIAL (m<sup>3</sup>/h)</b>
Interno ETA	23	23
Osmose p/ Torres	39	39
Desmineralização p/ Torres	10	10
Purga das Caldeiras p/ Torres	10	10
UNs de Retif. Água Ácida	218	218
Retorno de Condensado + V3	494	544
Uns de Retif. Água Ácida – p/ Dessalgação (T-2007)	24	56 (*)
Uns de Retif. Água Ácida – p/ Dessalgação (T-2057)	35	59 (*)
<b>Reflexos sobre a Captação</b>	<b>1653</b>	<b>1547</b>
<b>Reflexos sobre a geração de Efluentes para ETDI</b>	<b>627</b>	<b>521</b>

(\*) As diferenças entre os valores atual e potencial  
destinar-se-iam às Torres de Refrigeração (U-612), após tratamento efetivo na U-690.

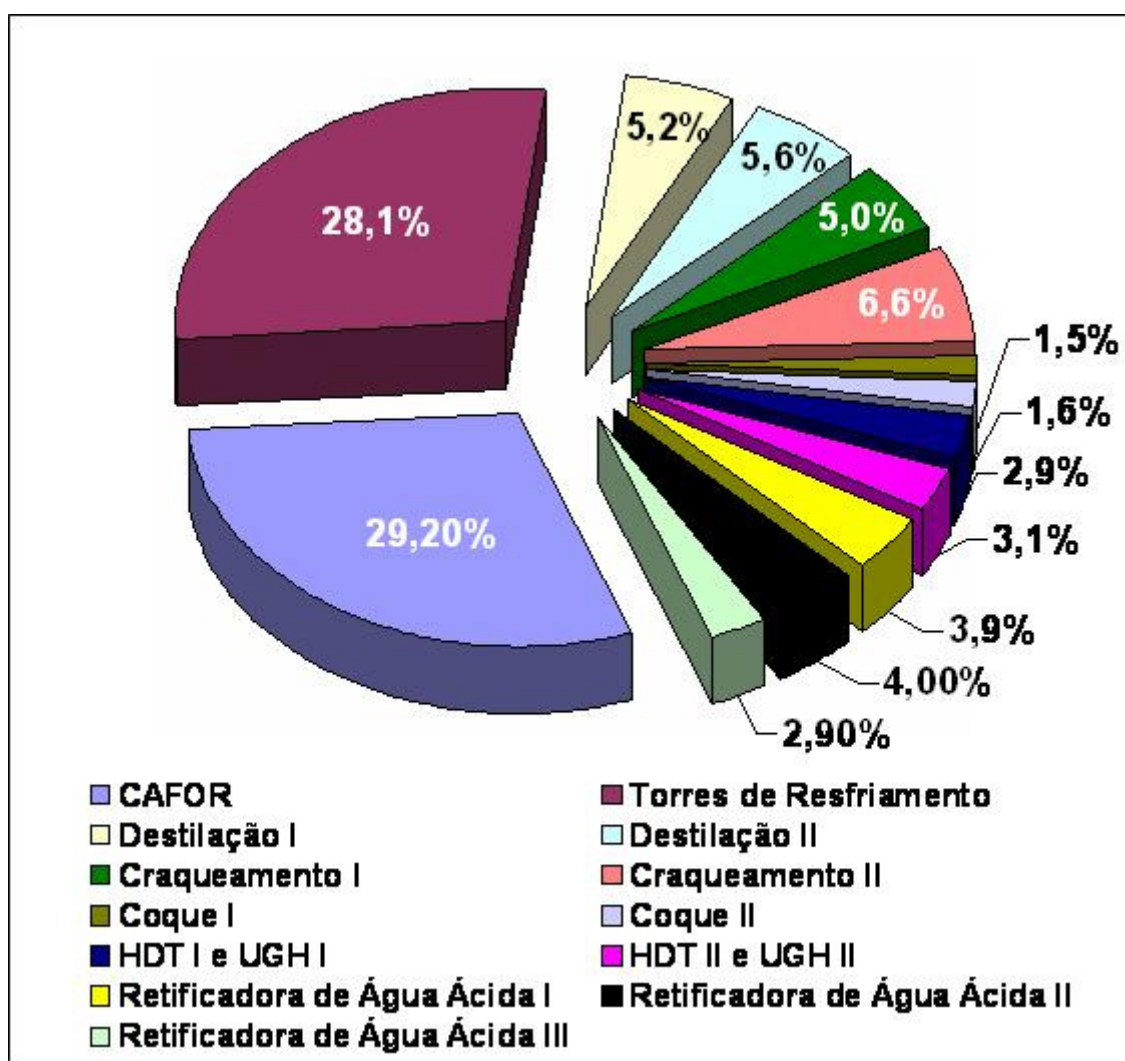
Na Figura 5.23 apresentam-se, na forma gráfica os dados apresentados na Tabela 5.28 para melhor visualização do potencial de reuso da refinaria em comparação ao realizado atualmente.



**Figura 5.23** – Vazões dos reusos atualmente realizados e potencial previsto após adaptações da U-690 e manutenção de equipamentos nos COQUES I e II e CRAQUEAMENTO II.

Na Figura 5.24 é exposta a distribuição do consumo de água total, ou seja, incluindo água “nova” e os reusos (dados apresentados na Tabela 5.29). A principal informação sob essa nova ótica é que o maior consumidor de água da REPLAN, passa a ser a CAFOR (U-631, incluídas aí todas as unidades de geração de vapor, algumas, localizadas nos CRAQUEAMENTOS e UGH), já que, no caso, a maior parte do vapor produzido provém

do retorno de condensado, o que corresponde a, cerca de, **62,7 %** do total afluente aos desaeradores.



**Figura 5.24** – Consumo total de água (“nova” + reusos), por unidade na REPLAN.

Na Tabela 5.29 é mostrado um resumo da soma de todos os tipos de água nas entradas e saídas dos limites de bateria das unidades de processo. Pode-se observar que algumas apresentaram um valor de saída maior que a entrada, demonstrando erros de medição ou de estimativas, mesmo que percentualmente pequenos, com exceção à unidade de águas ácidas retificadas II. Contudo, o que é importante ressaltar é que, na média, a diferença entre entradas e saídas foi de aproximadamente **249,9 m<sup>3</sup>/h**. Esta diferença, teoricamente, representaria a perda total de água na refinaria (com exceção da evaporação

nas torres de resfriamento, quantificadas a parte). Comparando esse valor com a soma dos destacados na Figura 5.25 (**245,2 m<sup>3</sup>/h**), referentes às perdas que foram obtidas considerando entradas (água bruta) e saídas (ETDI + Evaporação nas Torres de Refrigeração + Perdas Atmosféricas estimadas + Abastecimento da EXXON + Perdas Detectadas nos Sistemas de Água Industrial e de Água de Média Pressão + Perdas não Identificadas) globais da refinaria, os valores são bastante próximos, mostrando que o balanço hídrico apoiou-se em dados consistentes (cabe aqui ressaltar que, sempre haverá a possibilidade de melhoria de qualidade dessas informações, pela contínua calibração dos instrumentos existentes e implantação de outros em locais estratégicos, indicados durante a realização do presente trabalho).

**Tabela 5.29** – Consumos, saídas e diferenças das unidades de processo

<b>UNIDADES DE PROCESSO</b>	<b>ENTRADA (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>SAÍDA (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>≠ (%)</b>
Desaeradores (CAFOR)	967,2	786,2	23,0
Torres de Resfriamento	932,2	932,2	0
Destilação I	171,5	145,7	17,7
Destilação II	184	169,7	8,4
Craqueamento I	165,7	168,2	-1,5
Craqueamento II	218,2	193,9	12,5
Coque I	65,9	67,3	-2,1
Coque II	52,6	52,6	0
HDT e UGH I	96,2	84,6	13,7
HDT e UGH II	102,5	94,2	8,8
Retificação de Águas Ácidas I	128,3	133,1	-3,6
Retificação de Águas Ácidas II	132,6	146,3	-9,4
Retificação de Águas Ácidas III	96	89	7,9
<b>Total</b>	<b>3.312,9</b>	<b>3.063,0</b>	<b>8,16</b>



**Figura 5.25** – Balanço total da REPLAN considerando somente entradas e saídas globais da refinaria

### 5.3 Análises Qualitativas dos Fluxos com Destino à ETDI

As análises qualitativas foram realizadas pelo LabPró (Laboratório de Estudos de Tratabilidade de Águas e de Desenvolvimento de Protótipos de Tratamento – DSA/FEC) em um laboratório portátil (HACH) de análises de água para determinação dos seguintes parâmetros: pH; Condutividade; Turbidez; Alcalinidade; Dureza; Ferro; e Cor Aparente. Abaixo, segue a relação dos pontos de coleta das amostras e a origem dos afluentes.

As coletas foram executadas semanalmente, em todos os pontos mencionados, por um período de 4 semanas. Durante a realização das análises, tivemos alguns problemas, destacando-se:

- Avaria do sensor de condutividade por queda acidental, a partir da terceira semana.



Os resultados das análises estão demonstrados da Tabela 5.30 até a Tabela 5.35, juntamente com as vazões estimadas para cada ponto de amostragem e comentários sobre os resultados obtidos e potencialidade de reuso, sob a ótica dos parâmetros analisados:

**Tabela 5.30 – Análises qualitativas do tanque de pulmão das lavagens da troca iônica e ultrafiltração**

<b>TQ-6212</b>	<b>16/10/06</b>	<b>23/10/06</b>	<b>30/10/06</b>	<b>06/11/06</b>
pH	12,85	12,72	12,28	1,35
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	23.600	18.400	-	-
Cor aparente (UC)	181	37	107	8
Turbidez (UT)	10	1	2	2
Ferro (mg/L)	0,11	0	0,06	10,00
Dureza (Mg) (mg/L)	0,21	1,7	1,60	40,00
Dureza (Ca) (mg/L)		28,2	21,30	1,50
Alcalinidade P (mg/L)	4.940	3.805	4.805	0
Alcalinidade M (mg/L)	5.140	4.050	5.400	0
<b>VAZÃO (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>				<b>4,8</b>
<b>Comentários:</b> Apesar da baixa turbidez, esse efluente manifesta a presença de excessiva carga de sais dissolvidos em função da sua origem, o que pode ser observado pelos altos valores de condutividade. <b>➔</b> Impossibilidade de reuso, mesmo submetendo-o a tratamento complementar;				

**Tabela 5.31 – Análises qualitativas da água utilizada para dessalgação na Destilação I**

<b>Dessalgação</b>	<b>16/10/06</b>	<b>23/10/06</b>	<b>30/10/06</b>	<b>06/11/06</b>
pH	10,36	10,05	9,56	9,74
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	584	351	-	-
Cor aparente (UC)	1.056	280	295	730
Turbidez (UT)	84	10	5	13
Ferro (mg/L)	1,08	0,35	0,25	1,01
Dureza (Mg) (mg/L)	0,55	0,10	1,30	0,14
Dureza (Ca) (mg/L)	1,36	0,55	0,64	0,57
Alcalinidade P (mg/L)	828	45	145	350
Alcalinidade M (mg/L)	1.490	130	180	445
<b>VAZÃO (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>				<b>31,6</b>
<b>Comentários:</b> Manifestação de baixos valores de turbidez, altos valores de cor aparente, decorrentes, provavelmente, pela presença de ferro e óleos emulsionados, e baixos valores de condutividade. <b>➔</b> Grande potencialidade ao reuso após tratamento complementar em processo físico-químico de clarificação por Flotação por Ar Dissolvido (FAD);				

**Tabela 5.32 – Análises qualitativas da água utilizada para dessalgação na Destilação II**

<b>Dessalgação</b>	<b>16/10/06</b>	<b>23/10/06</b>	<b>30/10/06</b>	<b>06/11/06</b>
pH	5,58	9,90	4,36	6,21
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	124	628	-	-
Cor aparente (UC)	1.044	800	305	1910
Turbidez (UT)	105	40	24	280
Ferro (mg/L)	3,30	1,26	3,30	1,13
Dureza (Mg) (mg/L)	1,57	0,62	0,37	1,93
Dureza (Ca) (mg/L)	2,07	4,01	0,94	4,28
Alcalinidade P (mg/L)	0	50	0	0
Alcalinidade M (mg/L)	46	205	25	45
<b>VAZÃO (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>				<b>24,0</b>
<p><b>Comentários:</b> Manifestação de medianos valores de turbidez, altos valores de cor aparente, decorrentes, provavelmente, pela presença de ferro e óleos emulsionados, e baixos valores de condutividade.</p> <p>➔ Grande potencialidade ao reuso após tratamento complementar em processo físico-químico de clarificação por Flotação por Ar Dissolvido (FAD);</p>				

**Tabela 5.33 – Análises qualitativas do condensado contaminado no Craqueamento II**

<b>Condensado Contaminado</b>	<b>16/10/06</b>	<b>23/10/06</b>	<b>30/10/06</b>	<b>06/11/06</b>
pH	7,53	7,67	6,60	6,26
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	80,7	84,0	-	-
Cor aparente (UC)	38	41	19	25
Turbidez (UT)	4	6	1	2
Ferro (mg/L)	0,50	0,24	0,10	0,16
Dureza (Mg) (mg/L)	3,4	5,8	1,24	12,2
Dureza (Ca) (mg/L)	0,43	21,8	12,20	-
Alcalinidade P (mg/L)	0	0	0	0
Alcalinidade M (mg/L)	46	110	25	2,5
<b>VAZÃO (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>				<b>20,3</b>
<p><b>Comentários:</b> Baixos valores de turbidez, cor aparente e condutividade, demonstrando pouca contaminação com a água de resfriamento, o que motivou seu alinhamento à ETDI.</p> <p>➔ Alta potencialidade ao reuso, sem necessidade de tratamento complementar. Atenção especial deve ser dada na manutenção do sistema que propicia a contaminação, eliminando-se o problema;</p>				

**Tabela 5.34 – Análises qualitativas do condensado contaminado no Coque I**

Condensado Contaminado	16/10/06	23/10/06	30/10/06	06/11/06
pH	9,18	7,88	7,65	7,92
Condutividade (µS/cm)	297	3.300	-	-
Cor aparente (UC)	16	2	4	6
Turbidez (UT)	1	1	1	1
Ferro (mg/L)	0,01	0,97	0,61	0,03
Dureza (Mg) (mg/L)	0,11	0,02	0,10	0,19
Dureza (Ca) (mg/L)	0,57	0,53	0,42	0,96
Alcalinidade P (mg/L)	0	0	0	0
Alcalinidade M (mg/L)	26	35	30	3,8
VAZÃO (m³/h)	20,9			
<p><b>Comentários:</b> Baixíssimos valores de turbidez e cor aparente, acompanhado de grande flutuação no valor de condutividade. Dados insuficientes para conclusão, evidenciando necessidade de novas coletas para complementação dos resultados não medidos.</p> <p>➔ Recomenda-se providenciar novas coletas para complementação de dados que possam subsidiar conclusões definitivas;</p>				

**Tabela 5.35 – Análises qualitativas do condensado contaminado no Coque II**

Condensado Contaminado	16/10/06	23/10/06	30/10/06	06/11/06
pH	9,07	7,99	7,43	7,35
Condutividade (µS/cm)	104,2	3.460	-	-
Cor aparente (UC)	32	2	6	11
Turbidez (UT)	2	1	1	1
Ferro (mg/L)	0,08	0	0,19	0,17
Dureza (Mg) (mg/L)	0,41	0,16	0,10	0,31
Dureza (Ca) (mg/L)	1,01	0,92	0,82	1,18
Alcalinidade P (mg/L)	0	0	0	0
Alcalinidade M (mg/L)	21	40	45	4,5
VAZÃO (m³/h)	20,2			
<p><b>Comentários:</b> Baixíssimos valores de turbidez e cor aparente, acompanhado de grande flutuação no valor de condutividade. Dados insuficientes para conclusão, evidenciando necessidade de novas coletas para complementação dos resultados não medidos.</p> <p>➔ Recomenda-se providenciar novas coletas para complementação de dados que possam subsidiar conclusões definitivas;</p>				

**Tabela 5.36 – Análises qualitativas da salmoura após dessalgação**

<b>TQ-4114</b>	<b>16/10/06</b>	<b>23/10/06</b>	<b>30/10/06</b>	<b>06/11/06</b>
pH	8,17	7,91	7,50	7,90
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	4.090	3.650	-	-
Cor aparente (UC)	602	740	550	2800
Turbidez (UT)	28	50	80	212
Ferro (mg/L)	1,29	2,37	2,72	47
Dureza (Mg) (mg/L)	1,96	0	0,67	4,78
Dureza (Ca) (mg/L)	0	2,58	2,26	-
Alcalinidade P (mg/L)	0	0	0	0
Alcalinidade M (mg/L)	2.714	495	520	665
<b>VAZÃO (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b>				<b>264,2</b>
<p><b>Comentários:</b> Valores medianos a elevados de turbidez e cor aparente, com presença de excessiva carga de sais dissolvidos em função da sua origem, o que pode ser observado pelos altos valores de condutividade.</p> <p>➔ Possibilidade de implementação de reuso, após tratamento complementar com etapas de clarificação, filtração em membranas e osmose reversa, principalmente pelo elevado valor de vazão. Sugere-se a realização de testes em escala piloto para o levantamento de parâmetros operacionais e de eventual dimensionamento da planta em escala real, caso os resultados sejam favoráveis;</p>				

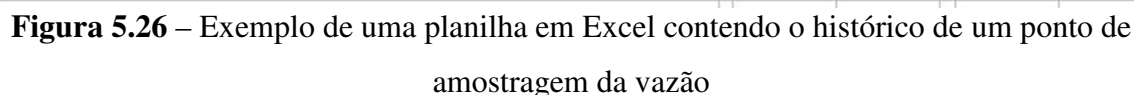
## 5.4 Ferramenta Auxiliar ao Gerenciamento do Uso da Água na REPLAN

Os balanços hídricos foram construídos com a ajuda de um *software* denominado “PI-BOOK”, disponibilizado pela própria refinaria, e que permite o acesso aos dados obtidos por equipamentos medidores de vazão instalados na planta industrial. Este programa possui uma biblioteca de figuras que foram utilizadas como simbologia das tubulações e dos diversos equipamentos que compõem os sistemas estudados. As tubulações são coloridas de maneira que o produto que está naquele fluxo seja identificado, como por exemplo, vapor nas diferentes pressões, água bruta, água ácida, água industrial, efluente, etc. Os valores das vazões também possuem cores que identificam se o período considerado na obtenção do referente valor foi de um ano (preto), menos que um ano (verde) ou estimativa (vermelho).

Os dados podem ser históricos referentes a um período determinado. Para este trabalho, ficaram estabelecidas vazões médias mensais no período de **01/07/05** a **30/07/06**, totalizando 12 pontos. Como as vazões das diferentes formas de água na REPLAN sofrem muita variabilidade dentro de pequenos períodos, foi considerado o valor médio obtido desses 12 pontos. Este diagrama foi denominado como “balanço estático”. Esta ação possibilitou certo “amortecimento” de períodos em que houveram problemas com os medidores ou uma mudança repentina inesperada nas condições de processo, objetivando a obtenção de dados consistentes que representem as vazões em condições normais de operação.

Contudo, este balanço muito provavelmente não serviria para ocasiões futuras devido à alta variabilidade já mencionada e ampliações futuras da refinaria. Pensando nisso, construiu-se uma ferramenta denominada “balanço dinâmico” em que os valores serão mostrados como a média dos últimos 12 meses que serão automaticamente calculados pelo PI-BOOK, impedindo a possibilidade das informações tornarem-se obsoletas devido ao aumento de vazões. Esta dinâmica permite que o sistema possa ser utilizado mais precisamente como ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos, já que o balanço hídrico das unidades é citado na norma N-2810 “Gerenciamento de recursos hídricos e efluentes” da PETROBRAS.

Para conhecimento, exemplos dessa ferramenta foram dispostos nos itens anteriores deste trabalho. Contudo, para síntese, somente estão disponibilizados os diagramas referentes ao limite de bateria das unidades.



Outra funcionalidade que o programa irá possuir é a apresentação do histórico dos dados qualitativos de pontos em que o laboratório de análises da REPLAN realiza ensaios de rotina. Os resultados são armazenados em um banco de dados que o PI-BOOK tem acesso para a consulta. Em outras palavras, nos próprios diagramas serão indicados valores com os resultados daquele ponto em específico, desta forma, mais informações estarão disponíveis para a realização de estudos mais aprofundados de racionalização do uso da água na Refinaria de Paulínia.





## 6. CONCLUSÕES

Considerando os resultados apresentados pode-se concluir que:

1 – Este estudo proporcionou uma melhor compreensão do uso da água na REPLAN mediante o esclarecimento de importantes informações que eram duvidosas até então. Além disso, permite uma visão global da refinaria, uma vez que as unidades são mostradas em detalhes internos e também suas interligações com outras unidades. Contudo, ainda existe a necessidade de melhoria de algumas informações importantes que poderão auxiliar no incremento da qualidade dos dados obtidos. Isto poderá ser alcançado com a instalação de instrumentos em pontos de medição estratégicos indicados por este trabalho;

2 – A metodologia empregada no levantamento de dados e fluxogramas hídricos individuais e global da REPLAN foi considerada adequada, já que os Balanços Hídricos demonstraram boa qualidade nos dados levantados, comprovados por diferenças pequenas entre somatórias de entradas e saídas de processos individuais e globais (**1,9%**) da refinaria;

3 – A vazão da captação de água bruta considerada pela REPLAN era **14 %** superior à real, determinada neste trabalho, considerando dados históricos do período compreendido entre 01/07/2005 e 30/06/2006;

4 – O período considerado de doze meses permitiu uma maior segurança das informações já que os fluxos sofrem grande variabilidade de vazão conforme condições de operação dos processos e épocas do ano. Esse fato, e também as futuras ampliações da refinaria, são os argumentos para que as vazões sejam atualizadas continuamente, já que baseadas em dados estáticos estariam desatualizadas brevemente;

5 – Destacando a importância do reuso na REPLAN, a captação deveria ser de **2.506 m<sup>3</sup>/h**, se qualquer tipo de reuso de água não fosse realizado, representando um aumento de **51,6 %**.

6 – Cerca de **1.015,8 m<sup>3</sup>/h** refere-se a “consumo introspectivo” da refinaria, representando **61,5 %** da captação. A responsabilidade pode ser dividida em dois principais grupos: a maior parte (**77,8 %**) é relativa à evaporação e arraste nas torres de resfriamento, fator inerente ao processo. O restante (**22,2 %**) foi considerado como perdas diversas, principalmente de vapor e líquida nas unidades de processo;

7 – Medidas de manutenção de alguns equipamentos, de fácil implementação em paradas temporárias de algumas unidades de processos, além da adequação da U-690, fariam com que se reduzisse em **106 m<sup>3</sup>/h** a quantidade de água bruta captada e também a geração de efluentes industriais, chegando a valores **6,4 e 16,9 %** inferiores, respectivamente.

8 – As maiores utilizações de água bruta captada são na seqüência: água para resfriamento (**49 %**), água para geração de vapor (**32 %**) e água para o sistema de combate à incêndio (**13,2 %**), totalizando **94,2%** da captação.

9 – As análises qualitativas das fontes geradoras de efluente industrial mostraram a possibilidade de implantações de novos reusos, recomendando-se comprovações em testes que devem ser executados em instalações piloto;

## 7. RECOMENDAÇÕES

Baseando-se no conhecimento obtido com estudos da bibliografia especializada e experiências adquiridas no desenvolvimento deste projeto, que necessitou de participação intensa em todas as unidades de processo da refinaria, recomenda-se realizar as seguintes ações que poderão beneficiar as atuais pretensões da REPLAN para a redução do consumo de água:

- Organizar eventos, work shops, conferências e palestras que ajudem a difundir a situação atual para toda a força de trabalho da REPLAN, bem como as previsões futuras quanto à demanda de água e impactos nos recursos hídricos da região. Isso complementaria os constantes esforços realizados pela empresa na divulgação, para a sociedade civil e acadêmica, das ações tomadas para preservação desses recursos. O objetivo seria proporcionar uma maior compreensão, e conseqüentemente adesão, por parte da força de trabalho com relação a esta questão, mostrando que todos na empresa são responsáveis e podem atuar de forma pró-ativa, contribuindo com experiências e sugestões para a redução do consumo de água. Para treinamentos envolvendo o interesse em se divulgar todos os pontos de consumo de água e geração de efluentes, poderão ser utilizados os diagramas criados neste trabalho, em que a visualização destes pontos está disponível de forma gráfica, facilitando assim o seu entendimento;
- Implementar estudos objetivando o aproveitamento de água de chuva, que se mostra viável se considerada a área submetida a sistemas de drenagem superficial da refinaria e a precipitação pluviométrica medida na estação meteorológica da REPLAN entre os anos de 1989 e 2004 (1.373 mm/ano). Essa água poderia ser utilizada, em parte, ou na sua totalidade, sem necessitar aparentemente de tratamento, para substituir, entre outros, a água bruta, hoje utilizada no sistema de combate a incêndio. A refinaria possui tanques com grande capacidade de armazenamento, além de lagoa impermeabilizada com argila, que atualmente não estão sendo utilizados, e que potencialmente poderiam ser empregados para

armazenamento e regularização parcial ou total de futuros fornecimentos desse recurso;

- Implementar estudo de viabilidade técnica e econômica da reutilização de esgoto doméstico tratado atualmente ( $12,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) na ETE da REPLAN, complementando-o com processo terciário, como reposição, entre outros, nas torres de resfriamento;
- Implementar estudo de tratabilidade empregando o processo de flotação por ar dissolvido (FAD), objetivando a remoção de óleos e graxas presentes nas águas ácidas das unidades de destilação da REPLAN, atualmente, lançadas à ETDI. Essa medida poderá atender aos requisitos necessários para funcionamento adequado da U-690, cuja capacidade nominal é de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , hoje fora de operação, função da presença elevada desse contaminante nesse tipo de efluente;
- Direcionar esforços quanto à complementação dos fluxogramas hídricos das unidades de processo da REPLAN já desenvolvidos, incorporando, além dos dados quantitativos, informações sobre aspectos qualitativos das águas desses circuitos de processo. Tais informações já são rotineiramente disponibilizadas no banco de dados do iLab (Laboratório analítico da REPLAN), porém, de difícil consulta. Essa implementação permitirá a sistematização, consulta e tratamento de dados quantitativos e qualitativos, atualizáveis continuamente de forma automatizada, o que facilitará o gerenciamento dos recursos hídricos utilizados na refinaria;
- Implementar política de contínua atualização dos fluxogramas hídricos desenvolvidos, estendendo-os às futuras modificações, ampliações e novas unidades da REPLAN;

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP. **Esquema de Produção nível 4.** Disponível em [http://www.anp.gov.br/petro/refino\\_esquema\\_producao.asp](http://www.anp.gov.br/petro/refino_esquema_producao.asp).

Acesso em 28/06/06.

ANA (Agência Nacional de Águas). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2002.

AMORIM, R. Silva. **Abastecimento de água de uma refinaria. Caso REPLAN;** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2005.

BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento humano.** Oxford : Oxford University, 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei 6.938 de 31/08/1981.** Institui a Política Nacional de Meio Ambiente, 1981

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei 9.433 de 08/01/1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1997

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Avaliação das águas no Brasil.** Brasília: 2002. 86p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/avaliac.html>>. Acesso em: 27/12/2006.

BRAVO, J. L. Rodrigues. **Levantamento de oportunidades para racionalização do uso da água em unidades de processo de uma metalurgia de cobre primário;** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 2003.

BRESNAHAN, W. T. **WATER REUSE IN OIL REFINERIES**. Materials Performance, V.36, 1997

COM CIÊNCIA. Consumo de combustíveis no Brasil. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/petroleo/pet05.shtml>. Acesso em: 07/12/2006.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório da situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – 2002/2003**: relatório final. São Paulo, IRRIGART 2004. 504 p.

DEGRÉMONT. **Water Treatment Handbook**, 1996

FIESP/CIESP(Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo). Manual de Conservação e Reuso de Água para a Indústria. V.1. Disponível em: [http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes\\_meio\\_ambiente/reuso.pdf](http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/reuso.pdf). Acesso em: 03/01/2007.

GEO BRASIL. UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica. 2002. Disponível em: <http://www.wuiuma.org.br/geobrasil/geobrasil.html>. Acesso em: 07/01/07.

IBGE(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Atlas de saneamento. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/). Acesso em: 27/12/2006.

MIERZWA, J. Carlos. **O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas na indústria – Estudo de caso na Kodak Brasileira**. Tese de Doutorado, USP, 2002

MÓDENES, A. N. **Utilização da Análise Pinch na redução de emissões de poluentes.** Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999

PETRÓLEO BRASILEIRO. **Construção de cenários de disponibilidade hídrica – UN-REPLAN** - Relatório final, Petrobras-FBDS, 2002

PETRÓLEO BRASILEIRO. Carga processada e capacidade instalada nas refinarias. Disponível em [www.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.htm](http://www.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.htm). Acesso em: 06/12/2006.

PETRÓLEO BRASILEIRO. **Norma Petrobras N-38-Rev.E. Critérios para projetos de drenagem, segregação, escoamento e tratamento preliminar de efluentes líquidos de instalações terrestres.** PETROBRAS CONTEC Comissão de Normas Técnicas – SC – 34 Meio Ambiente. 2000. 86p.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. **Norma Petrobras N-2810. Gerenciamento de recursos hídricos e efluentes.** PETROBRAS CONTEC Comissão de Normas Técnicas – SC – 34 Meio Ambiente. 2005. 22p.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. **Relatório do grupo de estudo para identificação, quantificação e minimização do consumo de água, de vapor e de drenagens para a ETDI.** Relatório Técnico, REPLAN/SMS. 1999. 33p.

PETRÓLEO BRASILEIRO. **Reutilização de correntes hídricas no refino.** Projeto 600704. Relatório Técnico RT QM nº 007/2002, CENPES/PDEDS/QM.2002, 207p.

Pimentel, R. **Reserva de água no Planeta.** Bahia – Análise de Dados. (1999). Disponível em:

[http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes\\_sei/bahia\\_analise/analise\\_dados/pdf/retr os1999/pag\\_133.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes_sei/bahia_analise/analise_dados/pdf/retr os1999/pag_133.pdf)

PLANETA ORGÂNICO. **Uso da água na agricultura.** Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/aguauso.htm>. Acesso em 28/12/2006.

SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas e orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Legislação sobre Recursos Hídricos**, Consolidação 1987 – 2001. São Paulo. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Diretoria de Recursos Hídricos; 2002.488 p.

SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2004.** CETESB. Série Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2005. 297 p.

SILVA, MOISÉS. **Minimização do uso da água na indústria através da parceria entre universidade e empresas: o Projeto Braskem-Água.** Bahia Análise & Dados. Salvador/BA, V.13, 2003. p.557-566

UNESCO&WWAP. Water for people, water for life. Barcelona : Berghann Books, 2003.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Reuse of effluents: methods of Wastewater treatment and health safeguards.* Of a WHO meeting of experts. Technical report series n. 517. Genebra, **1973**.

ZAN, F. A. A. **Avaliação de estratégias de sustentabilidade técnica em um sistema de reuso de água a partir de efluentes industriais tratados: Estudo de caso;** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2006.